

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Металлургия және өнеркәсіптік инженерия институты

ӘОЖ 669.054.82

Қолжазба құқығында

Мендеке Медет Алханұлы

МАГИСТЕРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін

Диссертация атауы: Ақтоғай кен орнының мыс-сульфидті кендерін шаймалау процесін зерттеу және зияткерлік басқару жүйесін әзірлеу.

Дайындау бағыты 7M07201 – «Металлургиялық процестерді автоматтандыру және цифрландыру»

Ғылыми жетекші,
PhD. О.Бай
Байгенженов О.С.
«10» маусым 2021 ж.

Пікір беруші, PhD.
Алишанова А.М.
«11» маусым 2021 ж.



ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Норма бақылаушы,

Қоңыратбекова С.С.
«16» маусым 2021 ж.

МПЖжАМТ кафедрасының
меңгерушісі техн. ғыл. канд.
Чепуштанова Т.А.

«16» маусым 2021 ж.



Алматы 2021

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Металлургия және өнеркәсіптік инженерия институты

7M07201 - Metallургиялық процестерді автоматтандыру және цифрландыру

БЕКІТЕМІН

МГЖЖАМІ кафедрасының
меңгерушісі
Чепуштанова Т.А.
2019ж.



Магистрлік диссертация орындауға
ТАПСЫРМА

Магистрант Мендеке Медет Алханұлы

Тақырыбы: Ақтоғай кен орнының мыс-сульфидті кендерін шаймалау процесін зерттеу және зияткерлік басқару жүйесін әзірлеу.

Университет ректорының 2019 жылғы "12" 03 № 435-М бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі 2021 жылғы "17" маусым

Магистрлік диссертацияның бастапқы берілістері: "KAZ Minerals Aktogay" ЖШС өнеркәсіптік деректері»

Магистрлік диссертацияда қарастырылатын мәселелер тізімі

а) мыстың сульфидтік кендерін шаймалау процесін зерттеу, және мыстың шаймалану дәрежесіне асқын сутегі әсерін анықтау

б) шаймалау процесінің зияткерлік басқару жүйесін әзірлеу.

в) қосымшалар

Жұмыс презентациясы слайдтарда 17 көрсетілген

Ұсынылатын негізгі әдебиет:

1 Кенжалиев Б. К. Мыс пен баластан тыс кендерді үймелеп шаймалау Ақтоғай кен орн. – Алматы: Ғылым, 1983.

2 Халезов Б.Д., Шурыгин Ю.А. и другие. Выщелачивание меди из руд Жезказганского месторождения. – Алма-Ата: Наука, 1976.

Магистрлік диссертация дайындау

КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кіріспе	01.06.2020 ж.	
Сульфидтік мыс кендерін өңдеу бағытында жарияланған әдебиеттерді аналитикалық шолу	20.03.2021 ж.	
Сульфидтік мыс кендерін шаймалау процесі бойынша тәжірибелік жұмыстар орындау	20.04.2021 ж.	
Сульфидтік мыс кендерін шаймалау процесінің зияткерлік басқару жүйесін әзірлеу	01.06.2021 ж.	

Аяқталған магистрлік диссертация бөлімдеріне кеңесшілер мен норма бақылаушының қойған қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Негізгі бөлім	Ph.D., О.С.Байгенженов	05.02.2020 ж.	0.505
Тәжірибелік бөлім		11.03.2021 ж.	0.505
Автоматтандыру		30.05.2021ж.	0.505
Қорытынды			
Норма бақылаушы	Техн.ғыл.канд, сениор лектор С.С.Коньратбекова	15.06.2021 ж.	Meef

Ғылыми жетекші Байгенженов О.С.

0.505

Тапсырманы орындауға алған білім алушы Мендеке М.А.

Meef-

Күні

«03» желтоқсан 2019ж.

АҢДАТПА

Бұл магистрлік диссертация тапсырмалардан, кіріспеден, 3 тараудан, қорытындыдан, әдебиеттер тізімінен тұрады. Диссертация көлемі қосымшаларды қосқанда компьютермен терілген 52 беттен тұрады, сонымен қоса диссертацияда 7 сурет, 7 кесте бар. Әдебиеттер тізімінде 29 атау бар.

Жұмыстың мақсаты- сульфидтік мыс кендерін гидрометаллургиялық жолмен өңдеу мүмкіншілігін зерттеу, және зерттелген процестердің өңдеу зияткерлік басқару жүйесін әзірлеу.

Диссертациялық жұмыстың бірінші бөлімінде сульфидтік мыс кендерін өңдеу технологияларына жасалған шолу жұмыстары бойынша ақпарат келтірілген.

Диссертацияның негізгі бөлімінде Ақтоғай кен орнының сульфидтік мыс кендерін шаймалау процесін зерттеу бойынша жүргізілген жұмыстардың нәтижесі баяндалған. Сульфидтік мыс кендерін асқын сутегі қосылған күкірт қышқылымен шаймалау процестері зерттеліп, кен құрамынан мысты ерітіндіге өткізу дәрежесіне – шаймалауға түсетін кен ірілігі, К:С фазаларының қатынасы, шаймалау процесінің ұзақтығы, процесс температурасы сияқты параметрлердің тиімді шарттарды таңдалды. Сонымен қоса, анықталған тиімді параметрлерге сәйкес шаймалау процесінің зияткерлік басқару жүйесі қарастырылып, процесті автоматтандыру бағытында ұсыныстар жасалды.

АННОТАЦИЯ

Данная магистерская диссертация состоит из заданий, введения, 3 глав, заключения, списка литературы. Объем диссертации составляет 51 страниц, набранных компьютером, включая приложения, кроме того, диссертация содержит 7 рисунков, 7 таблиц. В списке литературы из 29 наименований.

Цель работы-изучение возможности гидрометаллургической обработки сульфидных медных руд и разработка системы интеллектуального управления обработкой исследуемых процессов.

В первой части диссертационной работы представлена информация по обзорным работам по технологиям переработки сульфидных медных руд.

В основной части диссертации изложены результаты проведенной работы по изучению процесса выщелачивания сульфидных медных руд Актогайского месторождения. Исследованы процессы выщелачивания сульфидных медных руд серной кислотой с добавлением перекисного водорода и выбраны оптимальные условия таких параметров, как крупность руды, поступающей из рудного состава в раствор – выщелачивание, соотношение фаз Т:Ж, продолжительность процесса выщелачивания, температура процесса. Кроме того, рассмотрена интеллектуальная система управления процессом выщелачивания в соответствии с выявленными эффективными параметрами и выработаны рекомендации по автоматизации процесса.

ANNOTATION

This master's thesis consists of tasks, introduction, 3 chapters, conclusion, list of references. The volume of the dissertation is 51 pages typed by a computer, including appendices, in addition, the dissertation contains 7 figures, 7 tables. There are 29 titles in the list of references.

The aim of the work is to study the possibility of hydrometallurgical processing of sulfide copper ores and to develop a system for intelligent control of processing of the studied processes.

In the first part of the dissertation work, information about the review works on the processing technologies of sulfide copper ores is presented.

The main part of the dissertation presents the results of the work carried out on the study of the leaching process of sulfide copper ores of the Aktogay deposit. The processes of leaching of sulfide copper ores with sulfuric acid with the addition of hydrogen peroxide are studied and optimal conditions are selected for such parameters as the size of the ore entering the solution from the ore – leaching composition, the ratio of the phases H:L, the duration of the leaching process and the temperature of the process. In addition, an intelligent control system for the leaching process is considered in accordance with the identified effective parameters and recommendations for automating the process are developed.

МАЗМҰНЫ

	Кіріспе	9
1	Сульфидті мыс кендерін шаймалау тәсілдері	11
1.1	Күкірт-қышқылды шаймалау	11
1.2	Мыс металлургиясындағы автоклавтық шаймалау процестері	16
1.3	Мыстың сульфидтік концентраттарын тотықтырып шаймалау процесі	18
1.4	Мыс концентраттарын тиосульфатты шаймалау	19
1.5	Сульфидтік кендерді механикалық активтендіру	27
1.6	Сульфидтік кендерді өңдеу процестеріндегі электрохимиялық реакциялар	31
2	Тәжірибелік бөлім	34
2.1	Зерттеу объектісі	34
2.2	Зерттеу жұмыстарына қолданылған ерітінділер мен реагенттер	35
2.3	Тәжірибелік әдістеме	36
2.3.1	Мысты бөліп алу дәрежесіне кен ірілігінің әсері	36
2.3.2	Қышқыл концентрациясының әсері	37
2.3.3	Күкірт қышқылымен мысты бөліп алу дәрежесінің уақытқа әсері	39
2.3.4	Мысты бөліп алу дәрежесінің қатты мен сұйық қатынасына әсері	40
3	Автоматтандыру	41
3.1	Автоматтандыру дегеніміз не?	41
3.2	Металлургиядағы автоматтандыру міндеттері	42
3.3	Автоматтандыру объектісі өндірістік процестерді зерттеу әдістері	44
3.4	Металлургия өнеркәсібін автоматтандыру	45
3.4.1	Агитациялық шаймалау процесін автоматтандыру	46
	Қорытынды	49
	Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	50

КІРІСПЕ

Экологиялық жағдайдың нашарлауы, экономикалық және әлеуметтік проблемалардың өткірлігінің артуы, экологиялық талаптардың қатаюы және соңғы жылдардағы энергетикалық қиындықтар жаңа технологиялық шешімдерді іздеуді талап етеді.

Түсті металл кендерінің жаңа кен орындарын игеруге арналған қаражаттың тапшылығы техногендік шикізатты кәдеге жаратуға қызығушылық тудырады (қорларды нақтылау, қоймалау шарттары, оны қайта өңдеу технологиясы).

Бастапқы және аса баланстан тыс шикізатты өңдеудің заманауи әдістерінің бірі сульфидтердің пирометаллургиялық тотығу процестерін болдырмайтын гидрометаллургия болып табылады.

Түсті металлургияда үймелеп (үйінді, қатпарлап) және жер асты шаймалау әдістері шағын және орта кен орындарының кедей және қыңыр кендерін, әсіресе құрамында улы элементтер (сынап, күшәла, сүрме және т.б.) бар баланстан тыс кен шоғырларын өңдеуге мүмкіндік береді. Бұл ретте экстракциялық және электролиттік процестерді тиімді пайдалану үшін алғышарттар жасалады, бұл шикізатты дайын өнімге қайта өңдеу циклін едәуір қысқартуға мүмкіндік береді. Зерттеулер көрсеткендей, сульфидті кендерден мысты шаймалау қарқындылығы аралас және тотыққан кендерге сәйкес келеді.

Бұл жұмыс Ақтоғай кен орнының мысалында сульфидті мыс кендерін шаймалау процесін зерттеуге арналған.

Жұмыстың мақсаты – мыстың сульфидтік минералдарын асқын сутегі қосылған күкірт қышқылы ерітінділерімен шаймалау процесін зерттеу, шаймалау процесіне әсер ететін әртүрлі параметрлердің тиімді шарттарын таңдау.

Жұмысты орындаудағы негізгі тапсырмалар келесідей:

Ақтоғай кен орнының тотыққан кендерінде кездесетін мыстың химиялық құрамын зерттеу

- 1) Кен құрамында кездесетін мыс мөлшерін және мыстың негізгі минералдық формаларын анықтау;
- 2) Сульфидтік кен құрамындағы мысты селективті шаймалауға қажетті еріткіш таңдау;

- 3) Шаймалау процесіне әсер ететін тиімді параметрлерді таңдау

Зерттеу объектісі – Ақтоғай кен орнының сульфидті кендері

Жұмыстың жаңалығы - Ақтоғай кен орнының сульфидті кендерін шаймалау процесінің термодинамикалық мәндері және лабораториялық зерттеу жұмыстарының нәтижесінде белгілі болған шаймалау процесінің оптимальды параметрлері

Жұмыстың өзектілігі - сульфидтік кендерді «дәстүрлі» технологиямен өңдеу технологиялары пирометаллургиялық күйдіру және балқыту процестерін қамтиды. Белгілі болғандай аталған пирометаллургиялық

технологиялардың экологиялық зияндылығына байланысты XX ғасырдың соңғы ширегінен бастап негізгі басым бағыт ретінде гидрометаллургиялық өңдеу әдістері қарастырылуда. Осыған байланысты көптеген дамушы мемлекеттерде мыс өндірісінің перспективті әдісі ретінде жаңа технологиялар жасалып жатыр. Сондай заманауи әдістердің бірі ретінде мыстың сульфидтік кендерін хлоридтік ерітінділермен шаймалау процестерін айтуға болады.

Жұмысты зерттеу барысында алынған шаймалау процесінің тиімді параметрлері технологияны өндірістік жағдайда қолданған кезде пайдаланылатын құнды ақпарат бола алады.

Жұмыс Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ-дың «Металлургиялық процестер, жылу техникасы және арнайы металдарды алу технологиясы» кафедрасының зертханасында жүргізілді.

1 Сульфидті мыс кендерін шаймалау тәсілдері

1.1 Күкірт-қышқылды шаймалау

Сульфидті мыс минералдары гидрометаллургиялық өңдеуге төзімді болғандықтан, атмосфералық қысым кезінде олардың шаймалауды күшейту үшін күшті тотықтырғыштарды қолдану қажет. Халькопирит концентратын атмосфералық қысым кезінде күкірт қышқылымен шаймалау, минералды түйіршіктердің беткі қабатын күкіртпен және ярозитпен бөлуге байланысты төмен жылдамдықпен жүреді.

Пассивті пленканы бұзу үшін жоғары температура мен қысым немесе пирит немесе Ag^+ иондары сияқты катализаторларды қолдану қажет. Пульпаға Ag^+ , Ag_2S ионын немесе құрамында күміс бар концентратты енгізу мыстың халькопириттен немесе басқа сульфидті кендерден шаймалануын едәуір жылдамдатады. Ag_2S CuFeS_2 ыдырауының катализаторы және FeS_2 ыдырауының ингибиторы екендігі көрсетілген. Жұмысында құрамында Fe(III) бар ерітінділермен екі сатылы шаймалауға негізделген халькопирит концентраттарын гидрометаллургиялық өңдеу технологиясы сипатталған.

Бұл ретте бірінші кезеңде негізінен түсті металл сульфидтері шаймаланады, ал екінші сатыда катализатор ретінде Ag(I) иондарының қатысуымен халькопириттік құраушыға шаймаланады. Шаймалау ұзақтығы 20 сағат болғанда $> 96 \%$ мыс ерітіндіге жалпы алынды. Атмосфералық қысым кезінде процесті пириттің қатысуымен халькопиритпен гальваникалық жұп түзетін катализатор ретінде жүзеге асыруға болады (Galvanox процесі). Хлор-күміс электродқа қатысты 410 мВ редокс-потенциалы кезінде шаймалаудың 2 сағ үшін мыстың 80% - дық алынуын 85°C , H_2SO_4 бастапқы концентрациясында 15 г/дм^3 және Fe 5 г/дм^3 , қойыртпақ тығыздығы $7,8 \%$, пириттің халькопиритке қатынасында $2:1$ қол жеткізуге болатындығы көрсетілген. Fe^{3+} және O_2 — нің болуы халькопирит электродының аралас потенциалын 53% - ға арттыратыны және еріту тогының тығыздығы 55 есе, ал 42% FeS_2 -нің болуы потенциалды тағы 14% - ға, ал еріту тоғы сәйкесінше $0,001 \text{ моль/дм}^3$ O_2 және $0,05 \text{ моль/дм}^3$ Fe(III) кезінде 2,6 және 2,2 есе арттыратыны көрсетілген.

Галванокс процесінде халькопириттің шаймалау жылдамдығының артуына пириттің күміспен өңделгеннен кейін каталитикалық белсенділігінің күшеюі есебінен қол жеткізуге болады, болжам бойынша $2\text{AgFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ аргентоярозиттің пайда болуы салдарынан.

Сол зерттеушілердің басқа еңбектерінде атмосфералық қысым кезінде $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ерітіндісімен халькопириттен мысты шаймалаудың айтарлықтай үдеуінің гальваникалық табиғаты көрсетілген, бұл күміспен өңделген пирит түріндегі ұсақ күміс қоспаларының оң әсер тиігізгенімен түсіндіреді.

Ұсынылған механизмге сәйкес, күміс күкіртті Ag_2S -ке байланыстырады және электрондардың халькопириттен пиритке өтуіне мүмкіндік береді, сульфат ерітіндісінде Fe(III) - ден Fe(II) - ге дейін төмендету арқылы шаймалау процесін тездетеді. Күміс болмаған кезде күкірт қабаты пирит пен халькопирит арасындағы электр байланысын үзеді.

Австралияда Cu-Cd-Zn тобының темірі мен металдары бар ерітіндіні және Pb-Au-Ag тобының металдары бар қалдықты, сондай-ақ қарапайым күкіртті алу үшін сульфидті кендер мен концентраттарды тікелей тотықтырып шаймалау әдісі патенттелген.

Бұл әдіс атмосфералық қысым мен қайнау температурасынан аспайтын температурада, азот оксиді мен оттегі бар тотықтырғыш реагенттің қатысуымен, күкірт қышқылымен сұйылтылған екі сатылы ағынды шаймалауды қамтиды. Ерітіндіден ерімейтін қалдық пен қарапайым күкіртті бөліп алғаннан кейін, ерітілген темір тұндырылады, содан кейін мырыш электролиттік секрециясына түсетін нитрат иондарынан бос ерітінді алу үшін қышқылдың қатысуымен Zn шаңымен өңделеді. Сульфидті мыс және мырыш кендерін өңдеу үшін әдіс ұсынылған, осы әдіске сәйкес концентрат $110-170\text{ }^\circ\text{C}$ температурада күкірт және азот қышқылдарының қоспасымен өңделеді.

АҚШ-та жабық қысымдағы ыдыста NaNO_2 ($0,61,0\text{ МПа}$, температура $125-175\text{ }^\circ\text{C}$) қосып, күкірт қышқылының ерітіндісінде сульфидті мыс кендері мен концентраттарды каталитикалық шаймалау әдісі ұсынылған. Әдіс бойынша сульфидті концентраттардан мысты шаймалау үшін құрамында $0,1-1\text{ г/дм}^3\text{ Na(K)NO}_3$ және $0,01-0,2\text{ г/дм}^3\text{ NaBr}$ бар H_2SO_4 негізіндегі ерітінді қолданылады. Шаймалауды $207-1380\text{ кПа}$ қысыммен оттегі бере отырып, $\text{pH}=0,55$, $100-150\text{ }^\circ\text{C}$ температурада жүргізеді.

Жапон зерттеушілері халькопиритті күкірт қышқылының ерітінділерімен ($0,011\text{ М}$) шаймалау процесі Fe(II)/Fe(III) иондарының ерітіндісіндегі байланысқа байланысты жүйенің тотығу потенциалымен анықталатынын анықтады. Халькопириттің белсенді еруі жүйенің тотығу-тотықсыздану потенциалында 95% болатындығы көрсетілген, тек 3 сағат ішінде $>2000\text{ }^\circ\text{C}$ температурада немесе минералдың алдын-ала активтенуімен қол жеткізуге болады. Жапон ғалымдарының пікірі бойынша халькопиритті күкірт қышқылымен шаймалау кезінде оттегі немесе темір(III) тұздарының қатысуымен екінші кезеңде Cu_2S тотығуы ерітілген оттегінің немесе Fe^{3+} иондарының әсерінен жүреді, нәтижесінде H_2S газы пайда болады. Ag^+ иондары шығарылған H_2S -ны ерімейтін күміс сульфидіне байланыстырып, жүйенің тотықтырғышты қалпына келтіру потенциалын арттыратыны көрсетілген.

Қытай ғалымдары никель штейнін селективті тотығу шаймалауынан кейін мыс қалдықтарын шаймалау процесін зерттеді. Қалдықтардың құрамы,

%, 60,15 Cu; 4,38 Ni; 0,69 Fe; 17,6 S. Шаймалау күкірт қышқылында 2 моль/дм³ дейін, қаныққан O₂, NaCl қатысуымен 2 моль/дм³ дейін, C:Қ 10:1 қатынасында жүргізілді. Процесс схема бойынша жүретіні көрсетілген:



Халькопиритті шаймалау жөніндегі материалдарды шолу нәтижесінде колумбиялық зерттеушілер Fe³⁺ тиісті концентрациясында халькопириттің шаймалануы жүреді, ал Fe³⁺ жоғары концентрациясында халькопириттің беті түзілетін ярозитпен пассивацияланады деген қорытындыға келді. Эксперименттік жолмен ерітіндідегі бастапқы тотығу потенциалының немесе Fe³⁺ концентрациясының жоғарылауы халькопиритті каталитикалық шаймалау кезінде мыс алуды арттыратыны анықталды, өйткені [Fe³⁺]/[Fe²⁺] қатынасының жоғарылауы Ag⁺ (катализатордың) рециклденуіне ықпал етеді.

Сульфидті кендерден (6 % Cu) және флотациялық концентраттардан (50 % Cu) мыс алу үшін келесі режимдік параметрлер: Fe(III) сульфатының ерітінділерімен екі сатылы шаймалау ұсынылды. Бірінші сатыда шаймалау температурасы 400 °C, екінші сатыда – 50 – 900 °C, қойыртпақтың тығыздығы 25-40 %, ұзақтығы 3сағ. Алынған ерітінділерден (13-14 г/дм³ Fe, 20 г/дм³ Cu) мыс экстракциямен алынады, содан кейін катодты мыстың реэкстракциясы және электролиз. H₂SO₄+H₂O₂ ерітіндісімен халькопириттен мысты шаймалау процесі бөлшек бетіндегі реакция жылдамдығымен басқарылатындығы анықталды. Шаймалау жылдамдығына тотықтырғыш концентрациясы (H₂O₂) үлкен әсер етеді. Мыс – халькопирит (CuFeS₂), энаргит (Cu₃AsS₄) және теннантит (Cu₁₂As₄S₁₃) минералдарын тотықтырғыш ретінде H₂O₂ (0,013 %) немесе оттегі ерітіндісін қолдана отырып, pH=2-11 аралығында тотықтырғыш ретінде шаймалаудың спектроскопиялық зерттеулері Cu (80 %) максималды шығарылуына pH=2 арқылы қол жеткізілетінін көрсетті.

Ұлттық зерттеу технологиялық университетінің қызметкерлері темір иондарының қатысуымен күкірт қышқылы ерітіндісінде сульфидті мыс концентратын шаймалау процесінде озонды пайдалану, 99 %-дық оттегіні пайдаланғаннан қарағанда, мыс алуды 50 % - ға арттыруға мүмкіндік беретінін анықтады. Халькопиритті күкірт қышқылымен шаймалағанда, N₂S₂O₈ натрий пероксосульфаты басқа темір тотықтырғыштарымен салыстырғанда тезірек және тиімді әрекет етеді.

Орал федералды университетінің зерттеушілері сульфидті мысты (басым минералдар – CuFeS₂, CuS және FeS₂) шаймалау кезінде пайда болатын реакциялардың термодинамикасын зерттеді және сульфидтердің элементарлы күкірт пен темір оксидтерін шығармай тиімді еру жағдайларын анықтады. Осылайша, азот қышқылымен (>1 моль/дм³) шаймалау кезінде сульфидтердің Cu(II) және Fe(III) сульфаттары мен бисульфаттарына дейін толық тотығуы

камтамасыз етіледі, қышқылдың аз концентрациясында ($pH=1\div3$) жүйеде аз еритін FeS және FeS_2 темір сульфидтері де, Fe_2O_3 оксиді де бар, бұл шаймалау процесіне теріс әсер етеді. Бұл жағдайда температураның жоғарылауы процестің толық аяқталуына ықпал етеді. Кинетикалық талдау HNO_3 жетіспеушілігімен халькопириттің онымен әрекеттесуінің жалпы реакциясы анықталды,



оның өнімдерінің қабығының тығыздығы – S_2 , O_2 және Fe_2O_3 бақылануы керек. Стехиометриялықтан асатын қышқылдың шығыны жоғары болған кезде, $C:Қ$ жоғары кезде қарапайым күкірт пен темір оксидінің қабықшалары пайда болмайды, ерітіндіге мыс пен темір алу тек сыртқы диффузиямен шектеледі. Экспериментті математикалық жоспарлау әдістерін қолдана отырып, ұжымдық сульфидті өнеркәсіптік өнімдерді азот қышқылымен шаймалау кезінде ерітіндіге мыс пен мырыштың максималды алынуы келесі жағдайларда камтамасыз етіледі: қатынасы $C:Қ=5:1$, азот қышқылының концентрациясы $9,85 \text{ моль/дм}^3$, ұзақтығы 120 мин.

Мыс шикізатын алдын ала күйдіре отырып, күкірт қышқылымен шаймалау. Жұмыста 1953 жылы Косака қаласында (Жапония) КС пешін қойыртпақпен қоректендіру кезінде сульфаттап күйдіруге алдын ала ұшыраған мыс-мырыш концентратын гидрометаллургиялық өңдеу бойынша зауыттың іске қосылғаны туралы хабарланды. 1959 жылы бұл әдіс "Гинцветмет" институтында (Мәскеу қ.) процестің оңтайлы параметрлерін анықтай отырып зерттелді. Алайда, сульфатты күйдіру мыс өндірісінің негізгі шикізаты болып табылатын халькопирит концентраттары үшін кең өнеркәсіптік пайдалануды таппады.

Алжир полиметалл $Cu-Pb-Zn$ рудасын сульфаттап күйдірумен қайта өңдеу бойынша зерттеу жүргізілді, одан кейін күкірт қышқылды шаймалау жүргізілді. 3 сағат бойы күйдіру сульфидтерді сульфаттар мен оксидтерге ауыстыру үшін жүргізілді. Cu және Zn экстракциясының максимумы $560^\circ C$ және $760^\circ C$ температурада болады, бұл жоғары температурада осы металдардың ферриттері мен силикаттарының пайда болуымен түсіндіріледі. $560^\circ C$ температурада алдын ала күйдірілген кенді шаймалау кезінде оңтайлы жағдайларда (H_2SO_4 концентрациясы $0,1 \text{ М}$, $C:Қ=3$, ұзақтығы 6 сағ) Мыстың басым бөлігі және $60\% Zn$ ерітіндіге шығарылады. $100\% Cu$ және $61\% Zn$ алу арқылы күйдірілген кенді күкірт қышқылымен шаймалауды қамтитын екі сатылы схема ұсынылады; екінші кезеңде шаймалаудың қатты қалдығы $60^\circ C$ кезінде теңіз суының көлемі бойынша 40% қосып, $100\% Pb$ және $99\% Ag$ шығарып, тиомочевина ерітіндісімен өңделеді. Мыс концентраты мыс сульфаты мен темір оксидін қалыптастыру үшін $400-500^\circ C$ температурада

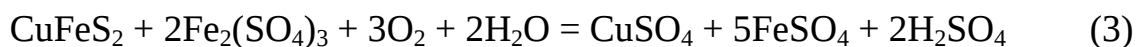
күйдірілді, кейіннен ыстық сумен шаймалау кезінде қалдық (гематит және кварц) және құрамында мыс көп ерітінді алынды. Зерттеулер көрсеткендей, халькопирит концентратын төмен температуралы сульфаттандыратып күйдіру мысты сульфидтерден суда және қышқылда еритін формаларға 97 % - ға аударуға мүмкіндік береді.

Сульфидті кендерді флотациялық байыту арқылы алынған ең төзімді мыс концентратының негізгі минералды фазаларының өзгерістері, күкірт қышқылды шаймалауды пайдалана отырып өндеудің мүмкін болатын құрамдастырылған схемалары зерттелді. Концентратта бастапқы сульфидтер басымы халькопирит және пирит. В.И. Смирнов пен А.И. Тихоновтың мәліметтері бойынша, 4 сағат бойы 800 °C температурада муфель пешінде халькопирит, ковеллин және пирит фазалары жиі араластырылады. Халькопириттің көп бөлігі моихукитке ($\text{Cu}_9\text{Fe}_9\text{S}_{16}$), қалғаны борнитке (Cu_5FeS_4) айналады. Күйінді өнімдеріндегі пириттің мөлшері төмен (3 %), өйткені ол тотықтырғыштың болмауына қарамастан халькопиритпен салыстырғанда толық тотығады. Күйіндіні шаймалағаннан кейін күкірт қышқылы ерітіндісіндегі (150 г/дм^3) Қ:С=1:4 қатынасында, 700 °C температурада 1,5 және 6 сағат ішінде мыс ерітіндіге тиісінше 42 және 54 % алынады.

Халькопирит концентратын механоактивациялау минералды фазалардың айтарлықтай өзгеруіне және күкірт қышқылын шаймалау кезінде мыстың қолайлы алынуына әкелмейді. Сульфидті мыс шикізатын өндеу әдісі ұсынылған, оның ішінде 850-950 °C температурада инертті газ (азот) ағынында сульфатты күйдіру, күйіндіні қышқыл-сулы ерітіндімен шаймалау және ерітіндіден мыс алу. Бұл әдіс шаймалау кезінде мыс алу дәрежесін арттыруға, салқындату камерасында тауарлық күкірт алу арқылы күйдіру кезінде күкіртті мүмкіндігінше жоюға, қоршаған ортаны ластайтын күкірт оксидтерінің бөлінуін барынша азайтуға мүмкіндік береді.

Жоғары пирит (43,12 % FeS_2) халькопирит концентратын жағу мысалында Армения ғалымдары темір мен мыс сульфидтерін сульфаттарға айналдыру және одан әрі тиісті оксидтерге айналдыру механизмін ұсынды және халькопириттің (неғұрлым төзімді сульфид ретінде) мыс пен темір сульфаттарына біртіндеп фазалық ауысуы 580 °C-ден ~ 640 °C-қа дейінгі температура аралығында жүретіні анықталды. Құрамында пирит бар халькопирит концентратын күйдіру кезінде төмен температурада және аз экспозицияда мыс пен темірдің тұрақты сульфаттары пайда болатындығы көрсетілген. Бұл ауа оттегі болған кезде халькопириттің тотығу реакциясы нәтижесінде пайда болған үш валентті темір сульфатымен әрекеттесуі нәтижесінде тотығуын көрсетеді, бұл концентратты сульфаттау процесін едәуір белсендіреді. Үлгілерді бу-ауа қоспасының ортасында өндеу кезінде үлкен нәтижеге қол жеткізіледі. Күйдіру кезінде су буы ондағы экзотермиялық

реакциялардың (сульфаттардың мерзімінен бұрын ыдырауына әкелуі мүмкін) салдарынан үлгінің қызып кетуіне жол бермейді, сонымен қатар үш валентті темір сульфаты мен ауа оттегімен бірге халькопиритті сульфаттауға қатысады:



Сульфатты күйдірудің келесі оңтайлы технологиялық режимі мыс пен ілеспе темірді шаймалау және селективті алу үшін ең қолайлы сульфатты күйдіруді алу үшін ұсынылады: $t = 650 \pm 100$ °C, $\tau = 30$ мин, орта – бу-ауа. Халькопирит концентраттарын өңдеу әдісі ұсынылған, халькопириттің 425 °C температурада инертті атмосферада күкіртпен әрекеттескен кезде ковеллин мен пиритке ыдырауына негізделген.



Жұмыста сонымен қатар 350-450 °C температура диапазонында халькопириттің күкірт газымен әрекеттесуі ковеллин мен пириттің пайда болуымен бірге жүретіні көрсетілген, бұл кейіннен шаймалауға қолайлы, өйткені ковеллин қышқылдарда оңай ериді, ал пирит баяу. Күйінді оттегімен қаныққан 1,2 М H_2SO_4 + 2М NaCl ерітіндісімен шаймаланған. Мысты алу темірдің минималды шаймалануымен >20 % құрады.

Алмалық тау-кен металлургия комбинатының мыс-молибден өнімін қайта өңдеу схемасы ұсынылды, оған ауа шектеулі болған кезде су буының қатысуымен термоөңдеу және кейіннен шаймалау кіреді. Құбырлы айналмалы электр пешінде термиялық өңдеу жалпы күкірттің аз мөлшерін қамтамасыз етеді, молибден негізінен MoO_2 -ге дейін, ал мыс CuO және Cu_2O -ға дейін тотығады. Күйінді күкірт қышқылымен шаймалау кезінде мыс толығымен ерітіндіге өтеді (оны цементтеу, электролиз немесе сорбция арқылы бөлуге болады), ал молибден қатты фазада қалады. Шаймалаудың оңтайлы шарттары: күкірт қышқылының концентрациясы 100-150 г/дм³, қатынас С:Қ = 7:1, температура 70-75 °C, ұзақтығы 30 мин.

Термогравиметриялық талдау әдісімен халькопириттің оттегі, ауа және аргон атмосфераларында тұзды күйдіру кинетикасы зерттелді. Хлорлаушы элемент ретінде KCl қолданылды. Күйдіру процесінде қосылыстардың тотығуы, сульфатизациясы, хлорлануы және булануы жүретіні анықталды. Оттегі бар атмосферада күйдіру, содан кейін сумен шаймалау кезінде мыстың көп мөлшерін халькопириттен алуға болатындығы көрсетілген. NaCl (450 °C) және KCl (700 °C) бар сульфидті мыс шикізатын төмен температуралы күйдіру, содан кейін күйіндінің екі сатылы шаймалануы MISiC -те зерттелген. Бірінші кезеңде суда еритін тұздар (калий немесе натрий

сульфаттары мен хлоридтері) сумен шаймаланады, ал екінші кезеңде күкірт қышқылымен сұйылтылған мыс хлориді.

1.2 Мыс металлургиясындағы автоклавтық шаймалау процестері

Мыс және үш валентті темір сульфаттарының халькопирит, пирит, сфалерит, элементарлы күкіртпен өзара әрекеттесуі кезінде температураның, араластыру қарқындылығының, материалдың ірілігі мен материалды өңдеу ұзақтығының ерітінділер құрамы мен қатты фазаның өзгеруіне әсері зерттелді.

Кинетикалық зерттеулердің нәтижелері құрамында мыс бар кешенді концентраттарды автоклавты шаймалаудың технологиялық әзірлемелерінде пайдаланылды және оларды кешенді гидрометаллургиялық өңдеу технологиясы, қолданыстағы өндіріспен ұтымды ынтымақтастық нұсқалары жасалды. Құрамында мыс бар кенді шикізатты гидрометаллургиялық өңдеудің кемшілігі аппараттық процестердің ұзақ болуы болып табылады. Реакторлардың бірқатар жаңа түрлерін пайдалану өте тиімді болып табылады. Мысалы, діріл процесі шаймалау ұзақтығын 5 есе, ал "қайнау қабатында" - 5-10 есе, діріл араластырғышы бар реакторда шаймалау кезінде – 15-20 есе қысқартады.

Зерттеулер Алмалық және Жезқазған кен орындары үшін жүргізілді. Шолуда сульфидті өнімдерді автоклавты ашудың артықшылықтарының бірі – құрамында күкірт бар газдардың зиянды шығарындыларының болмауы, күкірт қарапайым түрде шығарылатындығы атап өтілді. Айдах қаласында (АҚШ) зауыт кешенді мыс-қорғасын-мырыш шикізатын қайта өңдеді. Шеррит Гордонның автоклавты әдісі күкірт қышқылы мен аммиак нұсқаларындағы мыс сульфидті концентратқа пилоттық сынақтар көлемінде қолданылды, порт-Никель зауытында (АҚШ) автоклавты ашу мыс-никель файнштейніне қолданылды. Жұмыс құрамында мыс, кобальт және никель бар шикізатты автоклавты күкіртқышқылды шаймалау ерітінділерінен бағалы металдарды бөліп алудың сенімді тәсілін табуға арналған. Бұл металдарды сульфид түрінде қышқыл сульфат ерітінділерінен тұндыру әдісі ерітінділерден белгілі окшаулау процестеріне – цементтеу, кристалдану және т.б. қарағанда бірқатар технологиялық артықшылықтарға ие. Алдын ала қайнатылған күкірттің мыс тұнбасы 60-800 °C және тұнба ағынының 1,5 есе мөлшерінде болады. Сондай-ақ, күкірт қышқыл ерітінділерінен алынған мыс ұнтағының автоклавты тұнбасы зерттелді. Автоклавты кремнийдің азаюы процесін химиялық байыту процестеріне жатқызуға болады. Бұл әдіс кремний құрамын 30-дан 15 % - ға дейін төмендету есебінен Жезқазған мыс концентраттарын 1,5-1,6 есе байыту үшін пайдаланылды. Бұл әдісті құрамында мыс кедей кендерге қолдану ұсынылады. Жұмыста күкіртқышқылды шаймалау немесе алдын ала сульфидтеуге негізделген қиын байытылатын шикізатты өңдеу мақсатында

жоғары температурада сульфатты ерітінділерде мыстың кешенді түзілуі зерттелген. Автоклавты сульфидизация жұмыста ұсынылған. Автоклавты сульфидизация арқылы тотыққан және аралас мыс кендерін қайта өңдеу технологиясы, содан кейін сульфидті өнімді флотациялау ұсынылады.

Алмалық ТМК, Бозшакөл, Ақтоғай кен орындарының үйінділері зерттелді және нәтижесінде 24-35 % концентраттар алынды, оларда 90-95 % мыс алынды. Бұл әдіс Жезқазған мыс балқыту зауытының шаңын өңдеу үшін қолданылады. Шаң сульфидтеуге ұшырайды, содан кейін флотация және мыс флотоконцентратын алу. Рений ерітіндіге өтеді және оны ион алмасу әдістерімен алуға болады. Ең көп таралған мыс минералы - халькопирит, күкірт қышқылында ериді, (әдетте шаймалау үшін қолданылады) сондықтан шаймалау автоклав жағдайында жүргізілуі керек.

Канадалық зерттеушілер 2,1-15,6 % Cu бар Las Cruces (Испания) кен орнының сульфидті мыс кенін гидрометаллургиялық өңдеу мүмкіндіктерін зерттеді. Мысты H_2SO_4 ерітіндісімен атмосфералық шаймалау, мысты 1200 °C төмен температурада күкірт қышқылы ерітіндісімен автоклавты шаймалау (яғни. Балқу температурасына дейін S^0), Acorga M 5640 маркалы реагентпен мысты экстракциялау, резэкстрактіден мысты электролиттік тұндыру. Оңтайлы режимде екі сатылы шаймалау кезінде ерітіндіге Cu жалпы алу 83,4-90,7 % құрады. Төзімді мыс-алтын сульфидті концентраттарды гидрометаллургиялық ашу әдісі патенттелген, ол бойынша ыдырауды концентрацияланған күкірт қышқылы (80-93 %) 200-250 °C температурада және $K:C = 1:(35)$ қатынасында 56 сағат бойы жүргізеді. Қатты қалдықтардағы мыстың мөлшері 16-дан 0,15-0,20 % - ға дейін төмендеді, ал алтынның мөлшері 183-тен 280-450 г/т-ға дейін өсті, сульфидті мысты күкірт қышқылының ерітінділерімен (10-60 г/дм³) тотықтырғыш автоклавты шаймалау әдісі O_2 0,2-0,7 МПа парциалды қысымда және 1050 °C дейін температурада патенттелген, ол бойынша ерітіндіге Cu алу 80 % құрайды. Ерітіндіден алынған мыс темірдің ілеспе қоспасынан бөлініп алынады.

Австралиялық Western Metals компаниясы Gordon Mount зауытында сатылатын сульфидті мыс кендерін өңдеудің жетілдірілген технологиясын патенттеді және нәтижесінде алынған ерітіндінің электролизімен автоклавтардағы төмен қысымда (0,7 МПа) және 900 °C температурада кен шикізатын қышқылмен шаймалауды қамтиды. "Гипроникель" институты қызметкерлерінің пентландит, халькопирит және пирротин бар әртүрлі құрамдағы концентраттарды автоклавты тотықтырғыш (1500 °C, оттегі қысымы 1 МПа) бойынша зерттеулері сульфидті күкірттің салыстырмалы түрде жоғары мөлшері (~7 %) бар концентратты шаймалау күкірт қышқылы процесіне қосымша қажет етпейтінін және "аз сульфидті" шикізатты (2 % S_2) шаймалауға қарағанда ерітіндіге түсті металдардың жоғары алынуымен сипатталатынын көрсетті.

Процесс автотермиялық режимде жүреді, ал темір мен металл емес компоненттердің ерітіндіге ауысуы өте аз. Күкірт қышқылын тұтынудың артуы ерітіндіге мыс шығаруға теріс әсер етеді, бұл оттегінің ерігіштігінің төмендеуіне, сондай-ақ халькопириттің белсенді аймақтарын қышқылмен немесе сульфат молекулаларымен оқшаулауға байланысты тотығу шаймалау процесінде бөлінетін қышқылдың ингибиторлық әсеріне байланысты болуы мүмкін. Бетінде оттегімен бірге сіңіріледі. Концентраттарды тотықтырғыш шаймалау кезінде платина металдарының ерітіндісіне өту үлкен емес және 0,5 % Pt және Pd және 1,5 % Rh және Ru аспайды, бұл платина металдарының табиғи сульфидті минералдарының минералды қышқылдарға химиялық инерттілігімен байланысты.

1.3 Мыстың сульфидтік концентраттарын тотықтырып шаймалау процесі

Концентраттарды тотықтандыра шаймалау кезінде платина металдарының ерітіндісіне өту аса көп емес 0,5 % Pt, Pd және 1,5 % Rh, Ru аспайды, бұл платина металдарының сульфидті минералдарының минералды қышқылдарға химиялық инерттілігі байланысты. Канадалық зерттеушілер автоклав кезінде (110-220 °C) Cu(II) және Fe(III) иондарының қоспалары бар күкірт қышқылы ерітіндісіндегі халькопириттің шаймалауын (оттегінің парциалды қысымы 1,38 МПа) зерттеді, (800 мин⁻¹) және қышқылдың жоғары концентрациясында (1 моль/дм³). Мыстың жоғары алынуына (> 95 %) 3 сағат ішінде тек >200 °C температурада немесе минералдың алдын-ала активтенуімен қол жеткізуге болатындығы көрсетілді. Мысты сульфидті мыс кенінен немесе концентраттан автоклавты тотығу арқылы оттегі мен қышқыл хлорид ерітіндісінің қатысуымен ерімейтін негізгі мыс сульфатын бөліп алу әдісі ұсынылды. Тотығу негізгі мыс сульфаттарын алу үшін қажетті сульфат немесе бисульфат иондарының қатысуымен алуға болады. Кен неғұрлым нашар болса, H⁺/Cu қатынасы соғұрлым көп болуы керек. Мыс алудың пирометаллургиялық әдістерін гидрометаллургиямен ауыстыру үшін 2003 жылы өнеркәсіптік масштабта көрсетілген 220 °C температурада автоклавты тотығуды шаймалауға негізделген Placer Dome әдісі тиімді болып шықты. Сынақтар барлық S-тің қарапайым түрде, гипс немесе күкірт қышқылы түрінде шығару тиімділігін көрсетті. Бұл әдіс пирометаллургиялық процестермен салыстырғанда құрамы күрделі концентраттарды өндеуге мүмкіндік береді. Тұрақты мыс концентраттарын шаймалау кезінде тотықтырғыш ретінде оттегі, куприиондар, ферриондар, концентрацияланған күкірт қышқылы, хлордың сулы ерітінділері және т.б. тотықтырғыштар қолданылуы мүмкін. 1976 жылдан бастап CLEAR деп аталатын осындай әдістердің бірі, Туксондағы (АҚШ) зауыттында қолданылды.

Халькопирит концентраты автоклавтарда CuCl, FeCl₂ және күкірт алу үшін CuCl₂-FeCl₃-NaCl ерітіндісімен шаймаланады:



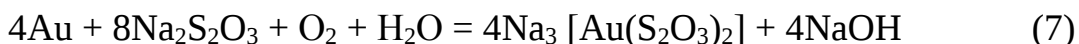
1.4 Мыс концентраттарын тиосульфатты шаймалау

Натрий тиосульфатын күміс мен алтынды еріту үшін пайдалану және 1975 жылы соңғы жылдары тиосульфатқа алтынның балама еріткіші ретінде қызығушылық айтарлықтай күшейе түсті.

Тиосульфаттар – құрамында $(\text{S}_2\text{O}_3)^{2-}$ топтары бар қосылыстар, олар сульфаттың құрылымдық аналогы болып табылады, онда бір оттегі атомы күкірт атомымен ауыстырылады. $[\text{S} - \text{SO}_3]^{2-}$ құрылымы бар тиосульфат ионының ерекше химиясы сульфид тәрізді S атомымен анықталады, оған регенерация қасиеттері, күрделі түзілу қабілеті, сонымен қатар сульфидтер түзілу қабілеті беріледі [9].

Тиосульфат ионы бар алтын құрылымының жеткілікті күшті кешенін құрайды $[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$, Гиббс түзілу энергиясы -1024,9 кДж/моль құрайды және қышқылданған кезде де күкірт шығарумен ыдырамайды. Бұл кешеннің тұрақтысы $4 \cdot 10^{-30}$, сондықтан SO_3 , S^{2-} иондарының қатысуымен алтынның стандартты тотығу потенциалы +0,15В дейін төмендейді, ал ерітіндіге ауысумен алтынның оттегімен тотығуы термодинамикалық болады.

Тиосульфатта алтынды еріту процесі оттегінің қатысуымен цианид процесіне ұқсас реакция арқылы жүреді:



Екі сағат бойы 600 °С температурада күйдіруге ұшыраған құрамында Ag - 249,5 г/т, Cu - 26,4 % және 32,7 г/т алтын бар мыс кенінен алынған флотациялық концентратты тиосульфатты шаймалау бойынша зерттеулер жүргізілді. Тиосульфатты шаймалау процесін жақсарту кезінде кен сынамалары 2 сағат бойы 600 °С температурада күйдірілді, тұрақты алтын - сульфидті кендер мен концентраттарды күйдіру процесінде пирит және арсенопирит минералдары тотығады, бұл олардың құрамындағы алтынның алынуына әкеледі.

Жоғары тотығу күйіндегі көптеген күрделі өтпелі металл қосылыстары әртүрлі химиялық процестерге қатыса алатындығы бізге мәлім. Мыс пен кобальттың аммиак және тиосульфат кешендері тотықтырғыштар тиімді болуы мүмкін. Сондай-ақ, мыс сульфатының қосылуы мыс ионының металл бетінен электрондарды алып, оны оттегіге беру қабілетіне байланысты асыл металдарды тиосульфат ерітіндісінде ерітуге күшейтуші әсер ететінін атап өткен жөн болады.

Жұмыстарда алтынды тиосульфатпен шаймалау автоклав процесінде зерттелді, ал түсті металл сульфидтерінің ыдырауы аммиакпен жүрді.

Аммоний ортасында сульфидті күкірттің алғашқы тотығу өнімі сульфатқа, сульфитке және тотықтыратын тиосульфат екендігі көрсетіп тұр. Тиосульфатта алтынның тиімді еру температурасы 80 °С құрады.

Екі сағат бойы 600 °С температурада күйдіруге ұшыраған құрамында Ag - 249,5 г/т, Cu - 26,4 % және 32,7 г/т алтын бар мыс кенінен алынған флотациялық концентратты тиосульфатты шаймалау бойынша зерттеулер жүргізілді. Тиосульфатты шаймалау процесін жақсарту кезінде кен сынамалары 600 °С температурада 2 сағат бойы күйдірілді. Тұрақты алтын - сульфидті кендер мен концентраттарды күйдіру процесінде пирит және арсенопирит минералдары тотығады, бұл олардың құрамындағы алтынның ашылуына әкелді. Төменде концентратты тиосульфатты шаймалау бойынша тәжірибелер сериясының мәндері көрсетілген. Шаймалау процесін жақсарту үшін натрий сульфиті, сондай-ақ мыс сульфаты берілді. Шығындар $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ – 20-100 г/дм³, Na_2SO_3 – 30-80 г/дм³, процестің ұзақтығы 24–48 сағат бірлігінде, қатынасы К:С=1:5, процестің температурасы 20–60 °С. Эксперименттердің нәтижелері кестеде келтірілген.

Жоғарыда келтірілген нәтижелерден көріп тұрғанымыздай, еріткіш ретінде бір натрий тиосульфатын немесе оның натрий сульфатымен қоспасын қолданған кезде шаймалаудың төмен екендігі байқалады – 16 - 24 сағат ішінде алтынды алу тек 52 – 68 % құрайды.

Аммиак қоспалары тиосульфатты шаймалау процесіне оң әсер бергені байқалады. Суреттен көрініп тұрғандай, алтынның еру жылдамдығының күрт артуы аммиак концентрациясы 1 г/дм³ кезінде байқалған. Содан кейін шаймалау қисықтары түзуленеді және 3 г/дм концентрациясында алтын алу 90,4 %, күміс 68,4 % және мыс 38,7 % құрайды.

Сульфидті минералдардың электродтық потенциалы тотығу-тотықсыздану процестерін анықтайтын негізгі фактор болып болатындығын біле отырып, әсіресе кристалдық тордағы химиялық байланыстардың бұзылуымен байланысты бірінші кезеңде электролит концентрациясы мен ерітіндінің температурасына байланысты оның өзгеру сипатын зерттеді.

Тәжірибелер көрсеткендей, халькопириттің электрод потенциалының мәні ерітіндінің температурасына байланысты (1-кесте).

1 Кесте – Электролит температурасының NaOH 5 моль/л концентрациясы кезінде халькопириттің стационарлық электродтық потенциалының мәніне әсері

NaOH ерітіндісінің температурасы, °K	298	303	308	313	323	333	343
Стационарлық потенциалы, мВ	-250	-250	-254	-250	-274	-289	-300

Халькопириттің электрод потенциалы шамасының өзгеру сипатына одан да маңызды әсер NaOH концентрациясы 298 °С кезінде 5 моль/л – ге дейін әсер етеді халькопирит электродының стационарлық электрод потенциалының

мәні теріс бағытта +120 – дан -250 мВ - ға дейін көбейеді. Потенциал мөлшерінің үлкен өзгеруі электролит ерітіндісінің температурасының жоғарылауымен байқалады (2-кесте).

2 Кесте – NaOH концентрациясының халькопирит электродының стационарлық электрод потенциалының мәніне әсері

Концентрация NaOH, моль/л	0	0,5	1,25	2,5	3,75	5,0
Стационарлық потенциал, мВ	Ерітінді температурасы 29 °К кезінде					
	+120	-150	-175	-225	-243	-250
Стационарлық потенциал, мВ	Ерітінді температурасы 343 °К кезінде					
	+120	-215	-245	-269	-284	-300

Құрамында алтын бар халькопириттің электрохимиялық тотығу технологиясын жасау кезінде CuFeS_2 электродтық потенциалын тұрақтандыру маңызды екенін ескеру қажет. Потенциалды тұрақтандыру жылдамдығы ерітіндідегі температураға және NaOH концентрациясына байланысты. Ерітіндідегі NaOH концентрациясының 0-ден 5 моль/л-ге дейін жоғарылауымен стандартты термодинамикалық жағдайларда халькопириттің бастапқы электродтық потенциалы теріс мәнді болады, оның мәні +65-тен - 145 мВ - қа дейін өзгереді (кесте 3). Потенциалды тұрақтандыру, яғни NaOH концентрациясының 0-ден 1,25 моль/л-ге дейін жоғарылауымен оның стационарлық мәніне қол жеткізу негізінен 20-25 минут ішінде жүзеге асырылады. NaOH концентрациясы 2,5-5 моль/л диапазонында жоғары болған кезде потенциал жай тұрақтанады және оның стационарлық мәніне негізінен шамамен 50 минут ішінде қол жеткізуге болады.

Электролит ерітіндісінің температурасының жоғарылауымен халькопириттің стандартты электродтық потенциалының шамасы артады және оны тұрақтандыру жылдамдығы өзгереді. Егер NaOH концентрациясы 343 °К температурада 1,25 моль/л - ге дейін өзгерсе, CuFeS_2 потенциалы 298 °К температурамен бірдей уақыт бірлігінде, яғни 20-25 минут ішінде өзінің стационарлық мәніне жетсе, онда 2,5-5 моль/л концентрациясында тұрақтандыру әлдеқайда жылдам байқалады және NaOH концентрациясы кезінде 5 моль/л алғашқы 2-3 минут ішінде жетеді.

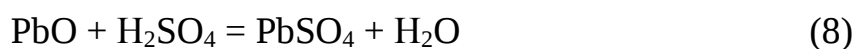
3 Кесте – 298 және 343 °К температураларда NaOH концентрациясына байланысты халькопириттің электродтық потенциалын тұрақтандыру

298 және 343 °К температураларда NaOH концентрациясына байланысты халькопириттің электродтық потенциалының мәні											
Концентрац ия NaOH, моль/л	0	0,5	1,25	2,5	3,75	5,0	0,5	1,25	2,5	3,75	5,0
Уақыт, мин											
0	+65	-90	-100	-100	-145	-145	-105	-110	-150	-220	- 270
1	+78	-97	-120	-140	-173	-178	-160	-165	-200	-268	- 287
2	+81	-102	-125	-152	-181	-189	-178	-182	-215	-274	- 292
3	+88	-111	-130	-160	-186	-195	-183	-195	-222	-278	- 291
4	+92	-118	-140	-165	-190	-199	-186	-201	-227	-280	- 298
5	+97	-125	-145	-169	-192	-203	-188	-205	-230	-281	- 299
6	+101	-130	-149	-173	-195	-206	-200	-209	-232	-282	- 299
7	+104	-134	-153	-177	-197	-208	-203	-211	-234	-283	- 300
8	+106	-136	-156	-178	-199	-210	-205	-212	-237	-283	- 300
9	+109	-138	-157	-181	-201	-212	-207	-213	-230	-283	- 300
10	+111	-139	-158	-183	-202	-214	-210	-214	-240	-284	- 300
15	+116	-142	-164	-190	-210	-220	-212	-222	-245	-	-
20	+120	-146	-170	-196	-215	-225	-212	-226	-250	-	-
25	+123	-148	-173	-201	-219	-228	-214	-230	-255	-	-
30	+124	-150	-175	-204	-222	-231	-216	-240	-260	-	-
40	+124	-150	-175	-211	-225	-237	-217	-245	-262	-	-
50	+124	-150	-175	-220	-230	-246	-217	-245	-269	-	-
60	+124	-150	-175	-225	-243	-250	-217	-245	-269	-	-

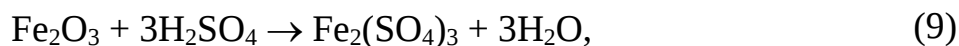
Жоғарыдағы деректерде көрініп тұрғандай (кесте 2, 3) электролит концентрациясының жоғарылауымен халькопиритке орнатылған электрод потенциалының шамасы минералдың термодинамикалық тұрақтылық шамасына қарағанда айтарлықтай теріс. $pH = 13 - 14$ интервалында $\Delta E_{ст} / \Delta pH \approx -238$ мВ мәні 298 °К электролит ерітіндісінің температурасында және 343 °К температурада $\Delta E_{ст} / \Delta pH \approx -197$ мВ мәні құрайды.

Құрамында алтыны бар сульфидті минералдар бетінің электрохимиялық қасиеттерін тұрақты қылу анықталған кинетикалық ерекшеліктері байыту технологиясын жасау кезінде электродтық потенциалды реттеуді көрсетті. Минералдардың тиімді бөлінуі үшін оның оңтайлы мәніне қол жеткізуді қамтамасыз ететін уақыт факторын ескеру керек екеніндігін көрсетті. Ұсынылған технологиялық схема тотығу әдістерін ескере отырып, дисперсті жүйенің энергетикалық күйін реттеуді қамтамасыз етуі керек және осыған байланысты фазалық шекаралардағы өзгерістер қатты-сұйық болды.

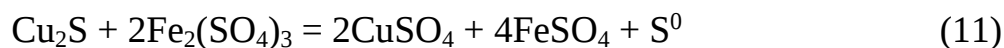
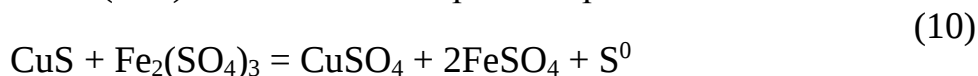
Өнімді күкірт қышқылымен шаймалау кезінде, жоғарыда көрсетілген реакциялардан басқа, негізгі минералдар мен қоспалардың (FeO , ZnO , PbO , Fe_2O_3) қатысуымен реакциялар жүреді):



Темір оксиді сияқты қоспалар да ериді:



пайда болған $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ мыс қосылыстарымен әрекеттеседі:



Металл мыс қышқылданған ерітінділерде темір сульфатының қатысуымен жақсы ериді:



Темір (III) сульфатының ерітіндісі көптеген табиғи мыс сульфидтері үшін жақсы еріткіш болып табылады. Алайда, бұл еріткіш мыс гидрометаллургиясында тәуелсіз мәнге ие емес. Мұның себебі - су ерітінділеріндегі $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ гидролизі. Сульфатқа тұрақтылық беру үшін ерітінділерді күкірт қышқылымен қышқылдандыру керек.

Аталған реагенттер сульфидті минералдарға біріккен кезде $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ сульфидті тотықтырғыш ретінде жұмыс істейді, ал күкірт қышқылы олардың нақты еріткіші болып табылады.

Қышқыл темір, егер целлюлозада оттегі болса, реакция арқылы қайтадан тотықтырылады



Тривалентті темір сульфаты FeSO_4 -ке дейін азаяды. FeSO_4 -тің $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ -ке кері тотығуы еріткішті қалпына келтіру үшін ауамен үрлеу арқылы жүзеге асырылады.

Осылайша, целлюлозада әрдайым сульфидті тотықтырғыш темір сульфидінің белгілі бір мөлшері болады, бірақ сульфидтердің еруі оксидтердің еру реакциясына қарағанда баяу жүреді. Бұл мыс минералдарының қосымша тотығуына мүмкіндік береді.

Осылайша, кенді шаймалаудың келесі оңтайлы шарттары белгіленді: күкірт қышқылының концентрациясы 50 - 75 г/л, ұзақтығы 15 күн.

Мұндай жағдайларда ерітіндіге мыс оксидтерін алу деңгейі 98,5 - 99 %, мыс сульфидтері 5,6 % құрайды.

Күкірт қышқылын шаймалау тортында сульфид түрінде 0,14 % мыс бар; яғни мыс оксидтері толығымен күкірт қышқылының ерітіндісіне ауысқаны анық, ал аз мөлшерде сульфидтер қатты фазада қалды.

Құрамында мыс бар шикізаттан мысты шаймалаудың негізгі әдістері (әдебиетке шолу) үйінді, жер асты, бактериялық шаймалау. Мысты шаймалау үшін мыналар қолданылады:

- 1) тотыққан кендер үшін сұйылтылған күкірт қышқылы,
- 2) күкірт қышқылындағы мыс сульфидтерінің тотықтырғыш ретінде темір тұздарының ерітінділері (әсіресе сульфат),
- 3) тотыққан кендер үшін аммоний карбонаты,
- 4) тұз, азот және концентрацияланған күкірт қышқылдары,
- 5) темір мен бивалентті мыстың хлоридті ерітінділері,
- 6) автоклавтардағы сульфаттарға сульфид тотықтырғыш ретінде оттегі.

Төмен сұрыпты кендер мен қалдықтар үшін бактериялық шаймалау қолданылады. Шаймаланғаннан кейін ерітінділерді мыс арқылы шоғырландырады, мысалы, сұйық экстракция немесе иониттермен сорбциялау, содан кейін мысты электроэкстракциялау немесе олардан мысты темір ұнтақтары арқылы цементация процесі негізінде мысты бөліп алады.

Төмен сапалы мыс кендерін өңдеу үшін зерттеушілер мен өндірушілердің назарын мысты үймелеп және жерасты шаймалау әдістері аударды, оларға бактериялық шаймалау әдісі қолданылды. Мыс кендерін жер асты және үйінді шаймалау процестерін үш сатыда жүргізу ұсынылды, бұл кеннен мыс алудың көбеюін және күкірт қышқылының шығынын азайтуды қамтамасыз етеді. Ол үшін бірінші кезеңде мыстың оңай еритін формалары ашылады, екінші кезеңде тотығу процестерін белсендіру үшін суару арасында үзіліс жасалады, үшінші кезең – соңғы, онда мыс сульфидті бөлігінің қиын еритін формаларынан шаймаланады. Сынақтарда мыстың 80 %-дық алынуына және күкірт қышқылының шығыны – 5 т/т мыстан аспауына қол жеткізілді.

Жұмыста құрамында 0,23 % мыс, оның ішінде 0,1 % сульфид түрінде бар мыс кені үшін еріткіштерді таңдау туралы хабарланды. Кен малахит, азурит, халькопирит және халькозинмен ұсынылған. Бөлме температурасында калий

бихроматы, күкірт қышқылы және натрий хлориді бар күкірт қышқылы шаймалау реагенттері ретінде пайдаланылды. Перколяциялық шаймалауды мыс порфир кендеріне қолдануға болады. Үйінділерді шаймалаудың қажетті шарты-еріткішті дұрыс таңдау және минералдардан тығыз опал пленкасын алу үшін натрий хлоридінің ерітіндісі қолданылды. Өнімді ерітінділерден мыс алу ТБФ-дағы $pH = 2$ кезінде жүргізілді. Мыс 99 % органикалық фазаға өтеді, ол жерден күкірт қышқылының ерітіндісімен қайта шығарылады.

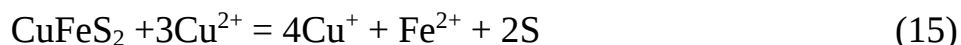
Баланстан тыс және қиын байытылатын мыс кендерін шаймалау процестерін күшейтуге арналған бірқатар реагенттер зерттелді. Интенсивті қоспалар мен аралас реагенттер ұсынылады. Сонымен, соңғысын қолдану еру жылдамдығын ретке келтіреді. Кендердің минералогиялық ерекшеліктерінің үймелеп шаймалау процесінде мыс алуға әсері жұмыста байқалды. Кеннің минералды фазаларының сандық қатынасы оның технологиялық қасиеттерін анықтайтындығы көрсетілген. Мысал ретінде шаймалау процесінде мыс алудың Кальмакыр және Қоңырат кен орындарының мыс порфир кендерінің минералды бірлестіктерінің сандық қатынасына тәуелділігі келтірілген.

Жұмыста үйінді және жер асты шаймалау – сульфидті емес мыс кендері үшін тиімді процестер екендігі атап өтілді. Рудадағы пириттің жоғары мөлшері (68 % дейін) 1 г/дм^3 дейін суармалы ерітінділерде күкірт қышқылының концентрациясы кезінде шаймалау процесін жүргізуге мүмкіндік берді. Қышқылдың меншікті шығыны $0,5 \text{ кг/кг}$ металды құрады, бұл стехиометриялықтан 2 есе төмен. Үйінді шаймалау процесінің күшеюіне рудадағы микроорганизмдер ықпал етеді. Хабарламада ерітінділерден мыс алудың экстракциялық әдісін сынау келтірілген. БГМК, АГМК мыс кендерін үймелеп және жерасты шаймалау учаскелері құрылды.

Канадалық зерттеушілер Чили мен Перудан алынған мыс концентраттарынан халькопириттің құрамында HCl , CaCl_2 және CuCl_2 бар хлоридті ерітінділермен шаймалауын зерттеді. Шаймалаудың оңтайлы жағдайларында (2 саты, температура 95°C , ұзақтығы 46 сағ, халькопиритті ұнтақтау ірілігі 37- 41 мкм, жалпы концентрациясы $[\text{Cl}] > 5 \text{ M}$, бос құрамы $[\text{HCl}] 3 \text{ г/дм}^3$) ерітіндіге Cu алу 89-99 % құрады. Cu алуды арттыру үшін автоклавты ашуды 2-ші кезеңде пайдалану ұсынылады. CuCl_2 -ді CuSO_4 -ке одан әрі конверсиялау сұйық экстракция арқылы жүзеге асырылады. Температура 95°C кезінде $\text{CuCl}_2 + \text{FeCl}_3$ ерітіндісінде сульфидті концентраттардан Cu -ны бір мезгілде Cu (II) - ге дейін тотықтыра отырып, екі сатылы дәлдікке қарсы шаймалау және кейіннен электроэкстракция үшін жарамды сульфатты ерітінді алу үшін сұйық экстракция арқылы Cu -ны алу тәсілі әзірленді. Тractionсы халькопирит үшін 99,1 % және борнит үшін 98,5 % құрады. Жұмыста натрий хлоратын (NaClO_3) пайдаланып халькопириттің шаймалану жылдамдығына тотықтырғыш ретінде HCl концентрациясы мен температурасы әсер етеді. Температурасы 65°C кезінде сульфидті күкірт сульфатқа, ал 85°C кезінде элементарлыға дейін тотығады. $25\text{--}65^\circ\text{C}$ кезінде процесс реакция кинетикасымен, ал $65\text{--}85^\circ\text{C}$ кезінде диффузиямен бақыланады [19].

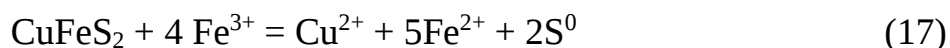
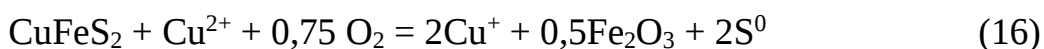
Халькопирит концентратын тұз қышқылымен (6-12 М) автоклав жағдайында (120-140 °С, 24 сағат) ыдыратып, целлюлозаны бөлме температурасында сумен шаймалау ұсынылады. Тотықтырмайтын қышқылдың (HCl) ерітіндісінде де сульфидтерді еріту процесіне тотықтырғышты қалпына келтіру реакциялары айтарлықтай үлес қосатыны анықталды. CuFeS_2 , MnO_2 қатысуымен HCl ерітінділерінде тиімді тотығады, ал тотықтырғыш қоспаларсыз HCl-де еріту болмайды. Байқалған әсер үш мүмкін себепке байланысты: Fe(II) тотығу реакциясының Fe(III) дейін дамуы, CuFeS_2 - MnO_2 жүйесіндегі гальваникалық өзара әрекеттесу және HCl мен MnO_2 реакциясы арқылы хлор газының пайда болуы. Cu_2S кальций хлориді ерітіндісімен HCl қоспаларымен және 55-75 °С температура диапазонында оттегі газының қатысуымен шаймалау процесін зерттеу нәтижесінде температураның жоғарылауы, хлор иондарының концентрациясы, араластыру жылдамдығы, шаймалау ұзақтығы және қатынасы көрсетілген С:Қ Cu_2S ыдырау деңгейінің 95 % дейін жоғарылауына ықпал етеді. Иордания ғалымдары FeCl_2 ерітіндісіне CuCl_2 қоспалары осы жағдайларда Fe (III) иондарына қарағанда жақсы тотықтырғыш бола отырып, халькопириттің шаймалануын белсендіретінін анықтады.

Intec Corper австралиялық компаниясы автоклавтарды пайдаланбай атмосфералық қысым мен орташа температурада NaBr және CuCl_2 бар жоғары концентрацияланған NaCl ерітіндісімен шаймалау арқылы халькопириттің басым құрамы бар концентраттардан мыс алудың жаңа технологиясын жасады. Темір гетит түрінде, күкірт қарапайым түрінде алынады. Тәжірибелік қондырғыда мыстың орташа алынуы 97,2 % құрады. Жұмысында оттегі көпіршігі бар CuCl_2 - HCl-NaCl жүйесінде халькопирит концентратын шаймалау процесі зерттелді. Шаймалаудың оңтайлы режимінде (бастапқы концентрациясы CuCl_2 - 0,2; HCl-1,2; NaCl - 3,6 М) 2 сағат ішінде 105 °С кезінде (қайнау нүктесіне жақын температура) концентраттан реакция бойынша мыс (Cu) 93 % алынды:



Чили зерттеушілері хлор-ион концентрациясының, Cu(II), температурасының, өңдеу ұзақтығының және С:Қ концентраттан мыс алуға әсерін зерттеді, оның негізгі минералдары халькопирит, ковеллин, пирит, кварц болып табылады. Оңтайлы жағдайларда сұйық экстракция арқылы мыс алуға жарамды Cu құрамы 35 г/дм³ және 25 г/дм³ бос қышқылы бар ерітінділерді алуға болатындығы көрсетілген. Халькозинді (Cu_2S) және дигенитті (Cu_9S_5) оңтайлы жағдайларда оттегі болған кезде CuCl_2 +HCl ерітіндісімен (температура 90 °С, мыс оксихлоридтерінің жауын-шашынын болдырмау үшін HCl концентрациясы > 0,2 М) 30 минут ішінде ерітіндіге > 95 % Cu өтеді, пирит іс жүзінде ыдырамайды және темір ерітіндіні аздап ластайды. Ерітінді сульфат иондарынан да босатылады, ал сульфидті күкірт тұнбада қалады [24].

Канадалық ғалымдар халькопириттің ыдырау кинетикасын және оны тотықсыздандырғыш – металл темірдің қатысуымен H_2SO_4 және HCl ерітінділерімен шаймалау кезінде оңай ашылатын халькозинге айналдыруды зерттеді. Жалпы алғанда, зерттелетін процесс ыдырайтын үлгілердің беткі қабаттары арқылы H^+ иондарының диффузиясымен басқарылатындығы көрсетілген. Бұл жағдайда сульфат орталары үшін активтендіру энергиясы 33,9 кДж/моль, ал хлорид үшін – 22,4 кДж/моль. Сульфидті концентраттардан мысты хлоридті шаймалау процестері сульфатқа қарағанда атмосфералық қысым кезінде және жоғары жылдамдықта мыс алуға мүмкіндік береді, бірақ үлкен капиталды шығындарды талап етеді және төмен ток шығынына байланысты алынған ерітінділерді электролизге тікелей бағыттауға мүмкіндік бермейді. Сумет тәжірибелі зауытта $\text{FeCl}_3 + \text{CuCl} + 2\text{NaCl}$ ерітінділерімен екі сатылы ағынды шаймалау жүргізілді, содан кейін ярозит түрінде темір тұндырылады, ал алынған CuCl қайнаған қабатта сутегімен қалпына келтіріледі. $\text{FeCl}_3\text{-NaCl}$ жүйесіне негізделген Cupres процесінде мыс ерітіндіден сұйық экстракция арқылы алынады, содан кейін мыс ұнтағы электролиз арқылы тұндырылады. Оутокумпу компаниясы құрамында Cu^{2+} иондары бар NaCl концентрацияланған ерітіндісімен (250-300 г/дм³) өңдеуге негізделген сульфидті мыс концентраттарын Hydro Copper шаймалау технологиясын жасады, рН 1,5-2,5 және 85-95 °С кезінде оттегінің қатысуымен араластыра отырып. Негізгі процесс теңдеумен сипатталады:



$\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ тұндыруын болдырмау үшін тұз қышқылы қосылады. NaOH қосылған ерітіндіден Cu_2O тұндырылады, содан кейін ол 400-500 °С-де сутегімен Cu ұнтағына дейін азаяды. Cu_2O тұндыру кезінде пайда болатын NaCl ерітіндісі технологияда қолданылатын NaOH , Cl_2 және H_2 алу үшін электролизге ұшырайды. Жаңа тәсілдің артықшылықтары: капитал салымының төмендігі және пайдалану шығындары, Мыстың, күмістің және алтынның жоғары деңгейде алынуы, төмен сұрыпты концентраттарды пайдалану мүмкіндігі. 1995 ж. "Гипроникель" институты Норильск комбинатында мысты тазарту технологиясының нұсқасын тандаудың техникалық-экономикалық негіздемесін, Ванюков пештерінің мыс штейнін гидрометаллургиялық қайта өңдеу штейннен темірдің бір бөлігін мыс бойынша байытылған кек алумен күкірт қышқылды шаймалауды және соңғысын оттегі-ауа қоспасын бере отырып, екі сатылы автоклавты күкірт қышқылды шаймалауды, кейіннен ерімейтін анодтары бар ванналарда электр экстракциясымен алынған ерітіндіден мысты алуды көздеді [12].

1.5 Сульфидтік кендерді механикалық активтендіру

Сульфидті үшін "құрғақ" немесе "сулы" (Қ:С =1:1 кезінде) активтендіру айтарлықтай нәтиже бермейді, фазалық құрамының өзгеруі және шаймалау кезінде ерітіндіге мыс алудың өсуі негізінен халькопириттен тұратын кен орнының сульфидті концентратының механоактивациясы мысты күкірт қышқылы ерітіндісіне кем дегенде 90 % алуды қамтамасыз етеді. Сульфидінің маңызды морфологиялық айырмашылығы халькопирит концентраттары. Механоактивациядан бұрын және кейін концентратта негізінен халькопирит, ковеллин, пирит және кварц фазалары болады. Механикалық белсендірілген үлгінің күкіртқышқылды шаймалаудан кектің фазалық құрамы да өзгермейді. Мұны келесідей түсіндіруге болады: "құрғақ" активтендірудің ұзақтығы неғұрлым ұзақ болса, аз реактивті минералдардың механохимиялық синтезінің реакциялары соғұрлым ықтимал, мысалы реакциялар:



(реакция тек механоактивация арқылы ғана емес, сонымен қатар термодиссоциация арқылы да жүреді және неғұрлым қарқынды болса, соғұрлым жергілікті жүктеме қызады) [16].

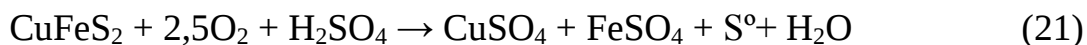


"Сулы" механоактивация кезінде бұл реакциялар, біріншіден, активатор барабандарының құрамының аз жылынуына, екіншіден, судың демпферлік әсерінен шарлардың соғу жиілігі мен күшінің төмендеуіне байланысты аз болады. Шамасы, мыстың ерітіндіге ауысу дәрежесін өзгертудің негізгі әсері бұл жағдайда механоактивациямен емес, ұнтақтаумен байланысты.

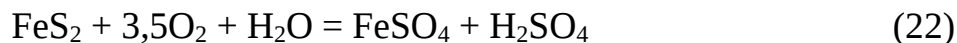
Жүргізілген эксперименттерден жасалуы мүмкін негізгі қорытынды - бұл кейіннен күкірт қышқылын шаймалауды күшейту үшін мыс концентратын алдын-ала механоактивациялау тиімсіз.

Құрамында 25 % мыс бар концентратты Қ:С=1:4 кезінде 50 г/л концентрациясы бар күкірт қышқылды су ерітіндісімен механикалық араластырғышы бар реакторда шаймалау 1 сағат ішінде 25 °С температурада мыстың ерітіндіге орташа есеппен 2,7 % - ға ауысуына әкеледі, бұл негізінен концентратта тотыққан мыстың болуына байланысты. Шаймалау қойыртпақты ауамен 100 °С температурада қарқынды араластыру кезінде барботердегі концентрат 300 г/л концентрациясы 4 сағат ішінде 17 % - ға дейін күкірт қышқылының ерітіндісіне мыс алудың артуына әкеледі. Бұл тәжірибелер оттегі тотықтырғыш ретінде тиімді екенін көрсетеді,

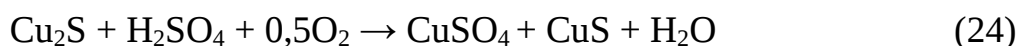
концентратты күкіртқышқылды шаймалауды қарқындату, алайда уақыт өте келе процесс тежеледі, бұл реакция бетінің реакция өнімдерімен бөгелуіне байланысты, мысалы:



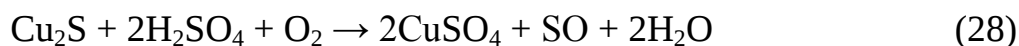
Егер біз оттегінің әсер ету механизмін қарастыратын болсақ, онда ол өте күрделі және келесі реакциялардың жүруімен бірге жүреді:



Пириттің темір сульфатымен тікелей әрекеттеседі, нәтижесінде күкірт қышқылы пайда болады. Бұл реакциялардың жылдамдығы, температура мен оттегі қысымының жоғарылауымен жоғарылайды. Негізгі параметрлер, олардың толықтығы уақыт бірлігінде реакция аймағына енгізілген (сұйық фазада еритін) температура мен оттегінің мөлшерімен анықталады. Сондықтан құрамында пирит бар сульфидті мыс концентраттарын оттегінің жоғары қысымында және күкірт қышқылының төмен концентрациясында шаймалауды жақсарту жолдарын іздеудің болашағы зор, өйткені ол оттегі мен пириттің қатысуымен қайта қалпына келеді. Сонымен мыс тотықтырғыш – үш валентті темір сульфаты да қалпына келеді. Алайда, негізгі оттекпен қатар оттегі болған кезде:



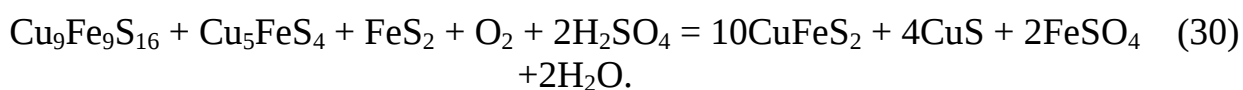
реакциялар реакция бетін бұғаттайтын өнімдерді қалыптастыру үшін жүреді, мысалы:



Концентратты алдын ала тотықтырып күйдіру, сондай-ақ ерітіндіге мыстың қолайлы алынуын қамтамасыз етпейді. Күйдіру температурасының

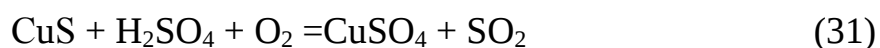
600-ден 800 °C-қа дейін жоғарылауы және ұзақтығы 2-ден 4 сағатқа дейін шаймалау режимдерінде ерітіндіге мыс алудың айтарлықтай өсуіне әкеледі, алайда мыстың көп бөлігі кекте қалады.

Бастапқы концентратты және оны қайта өңдеу өнімдерін рентгенофазалық талдау нәтижелері қызығушылық тудырады. Шаймалау кезінде кектен пириттің фазасы байқалмайды. Бұл тотығу кезінде ол толығымен тотығады, ал тотығу өнімі күкірт қышқылының ерітіндісіне өтеді. Халькопирит пен ковеллин фазалары да анықталмайды. Оның ағымы үшін 1 г мыс атомына 10 г темір атомы жеткілікті. Шамасы, күйдірілген концентратты күкірт қышқылын өңдеу процесінде реакциялар жүреді, бұл реакция арқылы қатты фазаның өзгеруіне әкеледі:



Оны шаймалау процесін қарқындату үшін концентратты механоактивациялау классикалық мағынада, атап айтқанда, энергия жүктелген құрылғыларды пайдалану кезінде кезінде планетарлық орталықтан тепкіш диірмендер, дезинтеграторлар, реактивті және диірмен қазіргі кезеңде жылына 0,5 млн. тоннадан астам концентратты қайта өңдеудің жылдық көлемі әзірлемелер көрсетілген жабдық ұсынылады [25].

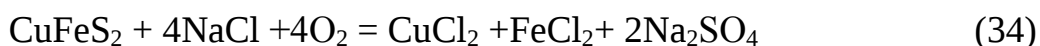
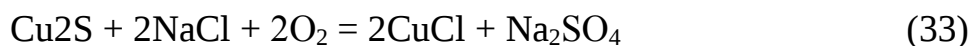
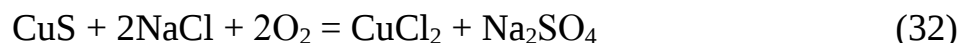
Тотықтырып күйдіру бар механоактивация түрлі комбинациясы – күйінді механоактивациясы, концентратты механоактивациялау – күйдіру, күтілетін нәтижеге әкелмеді (мыс ерітіндіге 90 % және одан жоғары деңгейде шығарылады). Сондықтан күйдірудің басқа нұсқалары, атап айтқанда сульфатизация және хлорлау сыналды. 200-250 °C кезінде концентрацияланған H_2SO_4 концентратын сынақ тәжірибелерінде өңдеу ~60 % ерітіндіге мыс алуға мүмкіндік берді. Мұндай өңдеу технологиялық параметрлерді оңтайландыру кезінде перспективалы болғанымен, атмосфераға күкірт газының бөлінуіне әкеледі, мысалы, реакция:



бұл үшін қолайсыз және атмосфераның күкірт газдарымен ластануын болдырмайтын технологияларды іздеуді алдын-ала анықтады. Зиянды газдардың атмосфераға шығарылуын болдырмайтын сульфидті мыс концентратын өңдеу мәселесін, біздің зерттеулеріміз көрсеткендей, NaCl – мен алдын-ала хлорлау арқылы шешуге болады (бірақ KCl -мен жақсырақ, өйткені бұл жағдайда өнімдерінде құнды калий тыңайтқышы - калий сульфаты пайда болады). Бұл жаңа емес және қарапайым пирометаллургиялық жабдықта жүзеге асырылуы мүмкін. Мысалы электр

айналмалы құбырлы пештер немесе кез келген отынмен жұмыс істейтін пештер (газ, мазут).

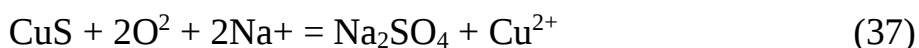
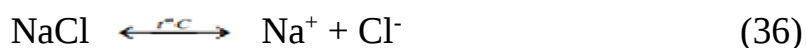
Біз оңтайлы режимдерде ерітіндіде мыс өндіруге 95 % - дан төмен емес қол жеткізуге болатындығын көрсеттік. Күйдіру кезіндегі негізгі реакциялар:



Күйдіру механизмі зарядталған бөлшектер - иондар мен электрондардың (Na^+ және Cl^-) қатысуымен екі фазаның бөлімінде жүретін гетерогенді болып табылатын электрохимиялық процестерге негізделген. Мұндай екі фазалы жүйелер электродтар деп аталады. Олар электронды өткізгіштігі бар қатты немесе сұйық материалдар, тікелей болатын металл немесе жартылай өткізгіш иондық өткізгіштігі (NaCl) бар сұйық немесе қатты электролиттермен жанасу. Электрондар интерфазалық шекараға жеткізілетін немесе одан шығарылатын электродтардың бөлігі астар деп аталады. Көптеген жағдайларда төсеніш материалы реакцияға қатысады, ал егер ол бейтарап болса, ол тек электронды таратқыш ретінде қызмет етеді.

1.6 Сульфидтік кендерді өндеу процестеріндегі электрохимиялық реакциялар

Электрохимиялық реакциялар кезінде пайда болатын электрод процестері оларды қарапайым химиялық реакциялардан ерекшелейтін бірқатар ерекше қасиеттерге ие. Олар тотығу-тотықсыздану реакцияларының жартысын білдіреді: не тек тотықсыздану (катодта) немесе тотығу (анодта). Рөлде тотықсыздандырғыш (электрон доноры) немесе тотықтырғыш (электрон акцепторы) электрод арқылы өтетін электр тогы. Электродтың астары электронды өткізгіштік арқылы электрондарды тотықтырғыш компоненттен алады немесе оларды азайтылатын компонентке береді. Бұл жағдайда электродтағы заттың иондалуы (мысалы, анодтағы металл немесе катодтағы хлор) немесе электролиттегі иондардың разрядтары немесе қайта бөлінуі орын алады.





NaOH қатысуымен, оңай балқитын компонент ретінде ($t_{\text{балқу}} = 320^\circ\text{C}$), реакциялар мүмкін. Сандық талдау нәтижесі:



Термоэлектрохимиялық реакцияның шарттары келесідей.

1. Компоненттер құрамына ұсақ дисперсті түрдегі заттар кіруі керек (үшін реакция жылдамдығын арттыру); мұндай заттар металл сульфидтері болып табылады.

2. Электролиттік ортада иондық өткізгіштігі бар заттар болуы керек, мысалы, NaCl.

3. Электролиттік ортаға берілген заттардың түзілуі үшін қажетті қосымша химиялық реагенттер енгізілуі мүмкін. Сонымен қатар, бұл қосымша заттар кез-келген агрегаттық күйде болуы мүмкін.

Химиялық реакциялар (яғни, анодтық-катодтық) электронды өткізгіштігі бар материалдан жасалған әрбір микробөлшек тотығу - тотықсыздану реакциясы ретінде жүзеге асырылады; бұл ретте аталған микробөлшек каталитикалық функциялардан басқа, қоршаған ортаға қатысты сыртқы электр тізбегінің рөлін атқарады.

Электролит бөлшегі. Бұл жағдайда пайда болатын көлемді бірнеше микро-ЭХГ ол химиялық энергияны электр энергиясына микроскопиялық түрлендіргіштердің жұмысына сәйкес келетін принцип пен шарттар бойынша жұмыс істейді. Әрбір микробөлшекке дамыған ЭМӨ мөлшері макронутриенттің ЭҚК шамасына тең болатындығын ескерген жөн. Соңғысын ескере отырып, нәтижесінде пайда болған ЭМӨ электрөткізгіш бөлшектер көлемінде ток түзуші реакциялар туғызуы мүмкін бөлшек көлемінің кіші ішкі электр кедергісіне байланысты жоғары тығыздықтағы электр тогы. Бұл, өз кезегінде, айтарлықтай жылу мен қоршаған ортаны жылытуға әкелуі мүмкін. Осылайша, егер классикалық электролиз процестері жеткілікті үлкен мөлшердегі жұптасқан электродтарды қолдануға негізделген болса, онда көптеген микроэлектродтарды қолданған кезде көп компонентті химиялық реакцияларды жүзеге асырудың сапалы жаңа шарттары мен мүмкіндіктері пайда болады.

Шын мәнінде, химиялық компоненттердің диссоциациясы сәйкес келеді. Әр түрлі табиғаттың сыртқы әсерлері процестің кинетикасы мен соңғы нәтижелеріне қатты әсер етуі мүмкін.

Бір қызығы, зарядта аз мөлшерде NaOH болуы (10 %) күйінді кейіннен шаймалау кезінде ерітіндіге мыс алудың ~1 % артуына әкеледі. Бұл аз мөлшерде сұйық фаза пайда болған кезде диффузиялық процестердің үдеуімен байланысты болады.

2 Тәжірибелік бөлім

Мыстың сульфидті кендері негізінен пирометаллургиялық технология арқылы өңделеді. Сульфидті кендерді өңдеудің технологиялық схемалары – кенді флотациялық байыту, алынған концентраттарды күйдіру, балқыту және штейнді конвертерлеу сатыларынан тұрады [1]. Қазіргі таңда металлургия саласы кендегі түсті металдардың орташа құрамының төмендеуі және бай кендердің таусылуы сияқты проблемаларға тап болды. Аталған қиыншылықтар алғашқы кездерде пирометаллургиялық жолмен өңдеуге тиімсіз деп таңылып, игерусіз қалған кендерді қайта өңдеуге тартуға мәжбүрлейді [2,3]. Осылайша, құрамындағы мыс мөлшері төмен болуына байланысты игерілмей сақталған кен орындарының бірі - Ақтоғай кен орны. Қазіргі кездегі кендегі мыс құрамы кедейленуіне байланысты қойылатын талаптың төмендеуі себебінен – аталған кен орны перспективті деп танылып, Республика көлемінде үлкен өндірістік қызығушылық тудырып отыр. Осының дәлелі - елімізде 2014 жылы «KAZ Minerals» компаниясы Ақтоғай кен орнының базасында мысты гидрометаллургиялық жолмен өңдеу бағытындағы өндіріс орнын ашты [4,5].

Көптеген зерттеулер нәтижесі гидрометаллургиялық технологиялардың құрамындағы мыс мөлшері төмен тотыққан кендерді және сульфидтік концентраттарды өңдеу үшін тиімді болуы мүмкін екендігін дәлелдейді. Құрамында сульфидтік мыс кездесетін минералдық шикізатты гидрометаллургиялық өңдеуге бағытталған зерттеулер кендік материалдарды механикалық активтендіру арқылы немесе тотықтырғыш көмегімен шаймалау нәтижелерін баяндаған [6].

Келтірілген ғылыми зерттеу жұмыстарының қорытындысы ретінде – мыстың гидрометаллургиялық технологиясының үлкен сұранысқа ие бағыт екенін байқауға болады. Қосымша айта кететін жайт, мамандардың бекітуінше, гидрометаллургиялық әдістер пирометаллургиялық әдістермен салыстырғанда – экологиялық тиімділігімен сипатталады [7,8]. Осы себептерге байланысты, сульфидтік мыс кендерін гидрометаллургиялық жолмен өңдеу технологиясын зерттеу – жұмыстың мақсаты ретінде таңдалды. Зерттеу барысында сульфидтік кен құрамындағы мыстың еруіне процесс ұзақтығы мен сутегі асқын тотығының әсері зерттелді.

2.1 Зерттеу объектісі

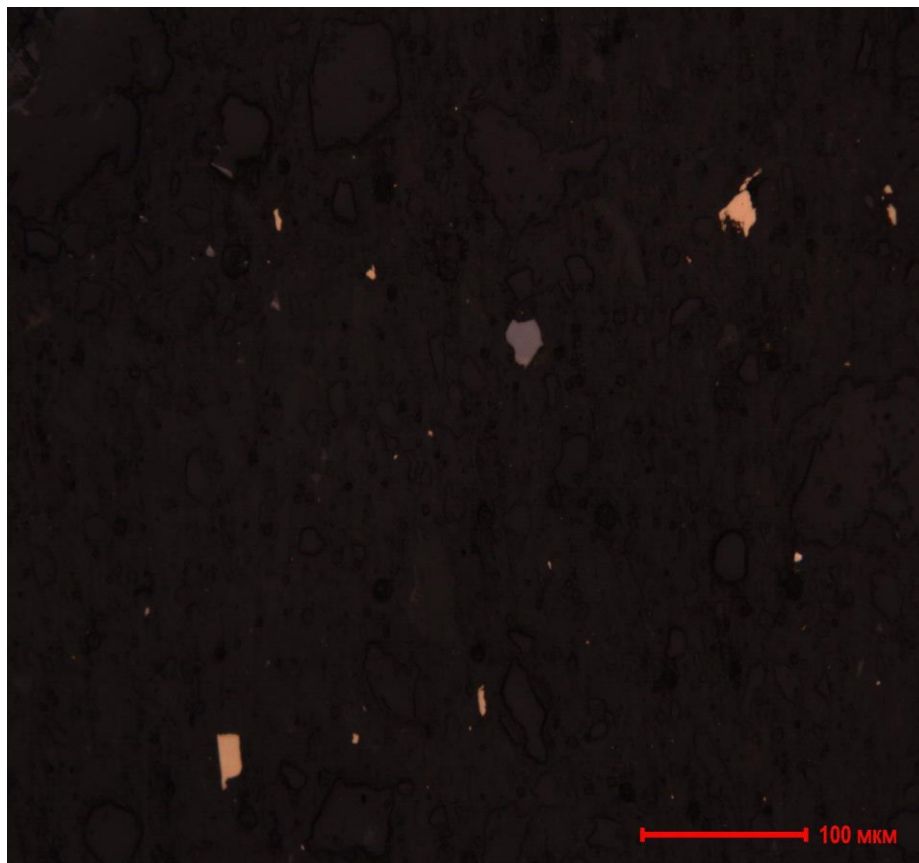
Зерттеу объектісі ретінде Ақтоғай кен орнының сульфидтік кендерін байыту барысында алынған сульфидтік концентрат таңдалды. Концентрат құрамындағы негізгі компоненттердің орташа құрамы келесідей: Cu (25,18 %),

Fe (28,8 %), S (33,2 %), Si (4,0 %), Al (2,1 %), Zn (1,8 %), K (0,8 %), Mg (0,72 %), Ca (0,4 %), Na (0,42 %).

Фазалық химиялық талдаудың нәтижелері бойынша мыстың 90 % -ы халькопиритпен ұсынылған. Екіншілік мыс сульфидтерінің үлесі 10 % -ын құрайды. Үлгіде мыстың тотыққан кендері табылған жоқ.

Үлгідегі рудалық минералдар халькопиритпен, пиритпен және екінші дәрежелі мыс сульфидтерінің шамалы мөлшерімен (борнит, халькоцит, ковеллит) ұсынылған. Сфалерит, ильменит және гематит минералдары байқалады.

Үлгідегі негізгі минерал - халькопирит. Оның үлгідегі құрамы 1,3 %-ды құрайды. Халькопирит жеке түрінде де, қосылыстарда да және бос жыныстардың өскіндерінде де кездеседі. Халькопирит түйіршіктерінің мөлшері 0,001 мм-ден 0,1 мм-ге дейін өзгереді (1-Сурет)



1 Сурет – Аншлиф. Кен. Халькопирит (сары), сфалерит (ашық сұр), пирит (ашық сары), металл емес сынықтар (қою сұр)

2.2 Зерттеу жұмыстарына қолданылған ерітінділер мен реагенттер

Диссертациялық жұмыс тақырыбы бойынша зерттеулерді жүргізу үшін бастапқы реагенттер ретінде келесідей заттар мен қондырғылар қолданылды: Бастапқы реагенттер:

- Ақтоғайдың аралас мыс кендерінің сынамалары;
- H_2SO_4 күкірт қышқылы - 10 -50 г/л;
- дистилденген су;
- қондырғылар:
- Вакуумдық насос;
- Бюхнер воронкасы;
- Бунзен аппараты;
- рН-метр, И-160;
- таразы, SHIMADZU AX200;

2.3 Тәжірибелік әдістемесі

Массасы 50 г сульфидтік кеннің сынамасы шыны реактор-стаканға салынып, реактор сумен қыздырылатын пропеллер араластырғышы бар аппарат-термостатқа жүктелді. Реакторға құрғақ күйінде салынған сульфидтік кен құрғақ күйінде берілген температураға дейін қыздырылды. Әртүрлі концентрациядағы күкірт қышқылы ерітіндісі бөлек колбада қыздырылып, сәйкес температураға жеткеннен кейін ішінде мыс концентраты бар реакторға құйылды. Шаймалау процесі күкірт қышқылының сәйкес концентрациясында сутегі асқын тотығының кен массасының 10 %-ын құрайтын мөлшерде араластырылды. Шаймалау процесінде - ерітінді мен концентраттың әртүрлі қатынасында, күкірт қышқылының әртүрлі концентрациясында, әртүрлі уақыт ұзақтығында және әртүрлі кен ірілігінде жүргізілді. Шаймалау процесі кезінде ерітіндіні құюмен бір мезгілде араластыру қосылып, тәжірибе уақытын есептеу басталды. Тәжірибе басынан әр 15 мин сайын шаймалау реактордан сынамалар алынып ерітінді құрамындағы мыс мөлшеріне талдау жүргізілді.

2.3.1 Мысты бөліп алу дәрежесіне кен ірілігінің әсері

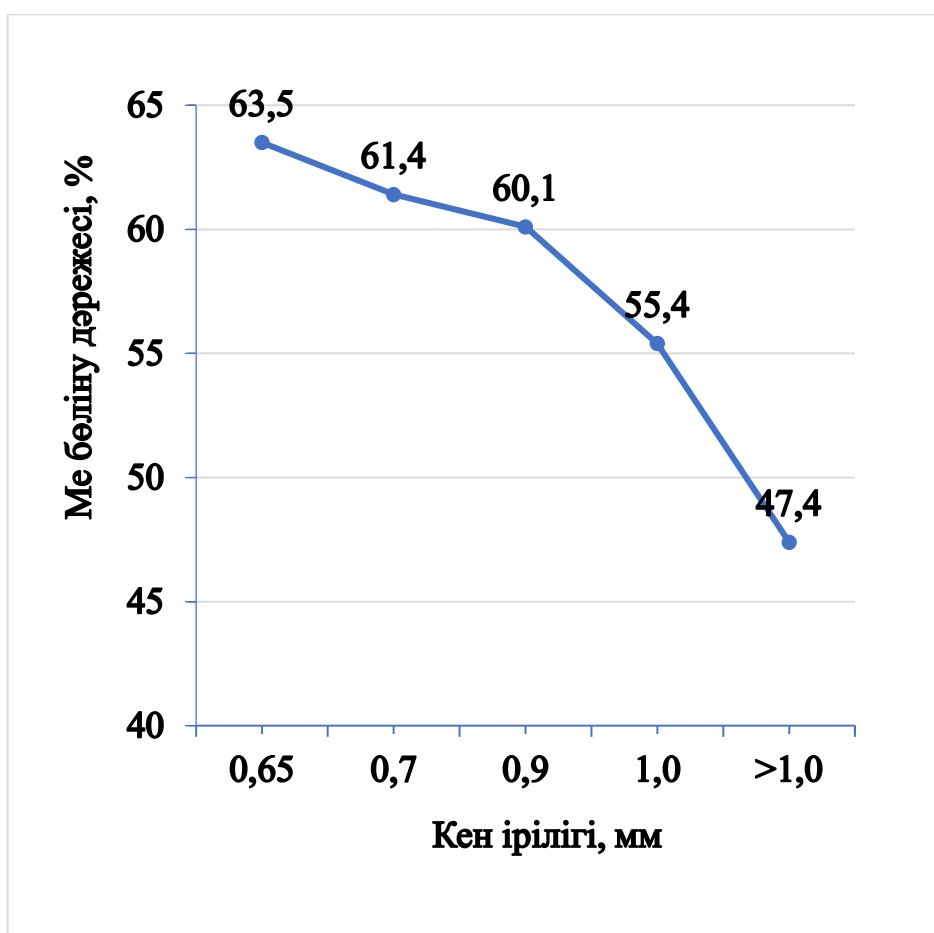
Бұрын жүргізілген зерттеу жұмыстарының нәтижесінде сульфидтік кендерді шаймалау процесіне қажетті H_2O_2 концентрациясы анықталған еді. Белгілі болғандай, зерттеу жұмыстарының нәтижесінде H_2O_2 шығыны кен массасының 10 % мөлшері таңдалған еді. Осыған байланысты осы жолы жүргізілген зерттеу жұмыстарында таңдалған H_2O_2 шығынында басқа параметрлер әсері зерттелді.

Бірінші кезекте шаймалау процесіне кен ірілігінің мысты бөліп алу дәрежесінің әсері зерттелді. Мысты кеннен шаймалау процесімен бөліп алу үшін -0.074, -0,2 + 0.074, -0.5 +0.2, -1.0 +0.5, -1.5 + 1.0 мм болатындай әртүрлі

кен ірілігі таңдалды. Тәжірибе қышқыл концентрациясы 100 г/дм³, Қ:С 1:3, процесс ұзақтығы 1,5 сағат, сынама салмағы – 50 г кезінде жүргізілді.

4 Кесте – Кен ірілігінің мысты бөліп алу дәрежесінің әсері

Ірілігі, мм	Е _{сш} , %
-0,074	63,5
-0,2 + 0,074	61,4
-0,5 + 0,2	60,1
-1,0 + 0,5	55,4
-1,5 + 1,0	47,4



2 Сурет – Кен ірілігінің мысты бөліп алу дәрежесінің әсері диаграммасы

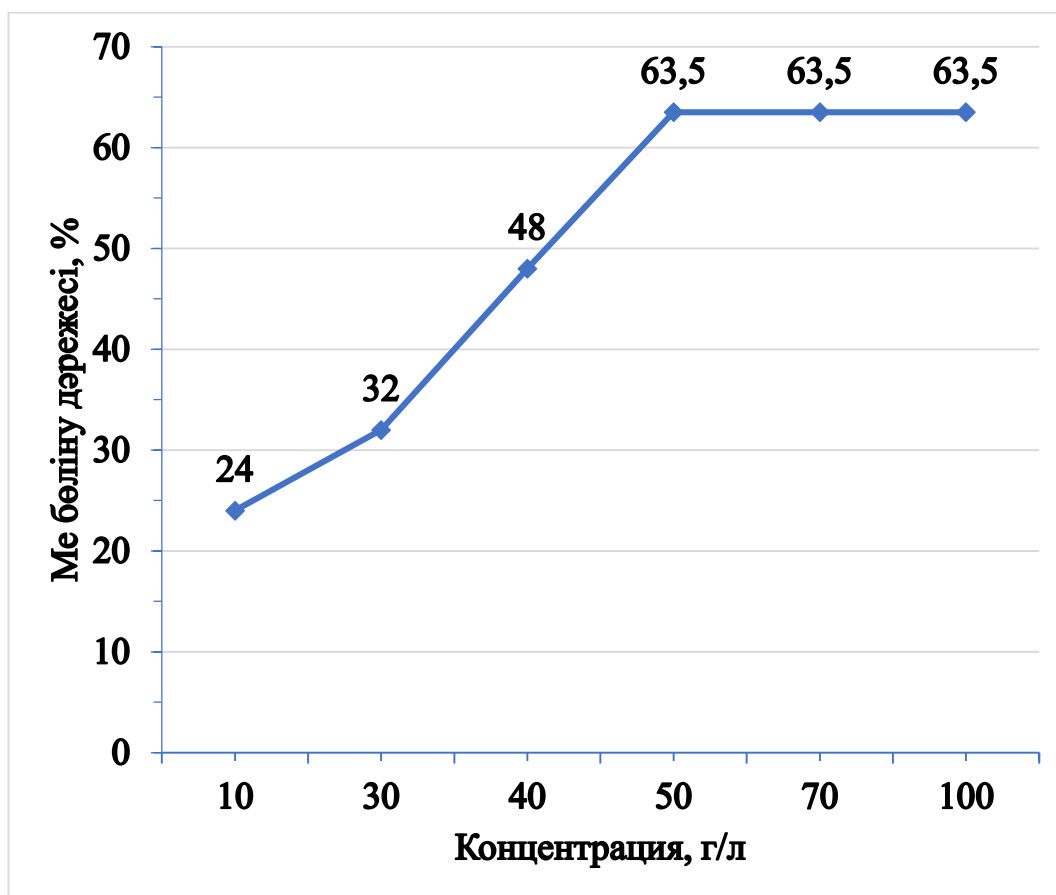
Нәтижелер кен ірілігінің мөлшері азайған сайын, шаймалау дәрежесі артатынын көрсетті. 4-суретте кен ірілігі -0,074 мм болған жағдайда 63,5% жеткенін көре аламыз.

2.3.2 Қышқыл концентрациясының әсері

Мысты шаймалау үшін күкірт концентрациясының 10, 30, 40, 50, 70, 100 г/дм³ ерітінділері алынды. Шаймалау уақыты – 1-24 сағат құрады.

5 Кесте - Мысты бөліп алу дәрежесінің концентарцияға әсері

$C_{H_2SO_4}$ г/л	$E_{Cu}, \%$
10	24
20	28
30	32
40	48
50	63,5
70	63,5
100	63,5



3 Сурет – Мысты бөліп алу дәрежесінің концентарцияға әсері диаграммасы

Шаймалау нәтижелері көрсеткендей (1-сурет), қышқыл концентрациясы 50 г/дм³ кезінде мысты бөліп алу дәрежесі 63,5 % жеткенін көруге болады. Ары қарай зерттеу жүргізу үшін концентрациясы 50 г/дм³ болатын күкірт қышқылын қолданамыз. Шаймалау қышқыл концентрациясы 50 г/дм³ кезінде

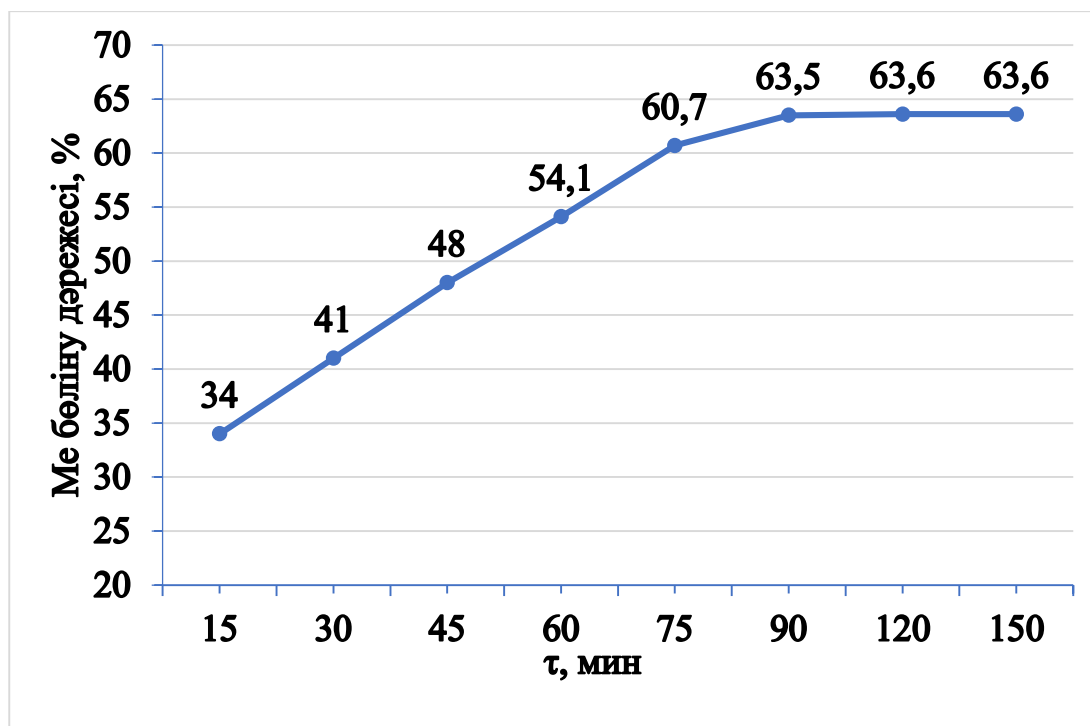
жүргізілді, Қ:С - 1:2, кен ірілігі – 1 мм. Шаймалау ұзақтығы 12 сағатқа дейін жүргізілді.

2.3.3 Күкірт қышқылымен мысты бөліп алу дәрежесінің уақытқа әсері

Күкірт қышқылымен мысты бөліп алу дәрежесінің уақытқа тікелей әсері бар. Себебі, қанша ұзақ шаймалаған сайын, сонша мыс кенін ерітіндіге бөліп алу дәрежесі көбейеді.

6 Кесте – Мысты бөліп алу дәрежесінің уақытқа әсері

τ , мин	E_{Cu} , %
15	34
30	41
45	48
60	54,1
75	60,7
90	63,5
120	63,6
150	63,6



4 сурет – Мысты бөліп алу дәрежесінің уақытқа әсері диаграммасы

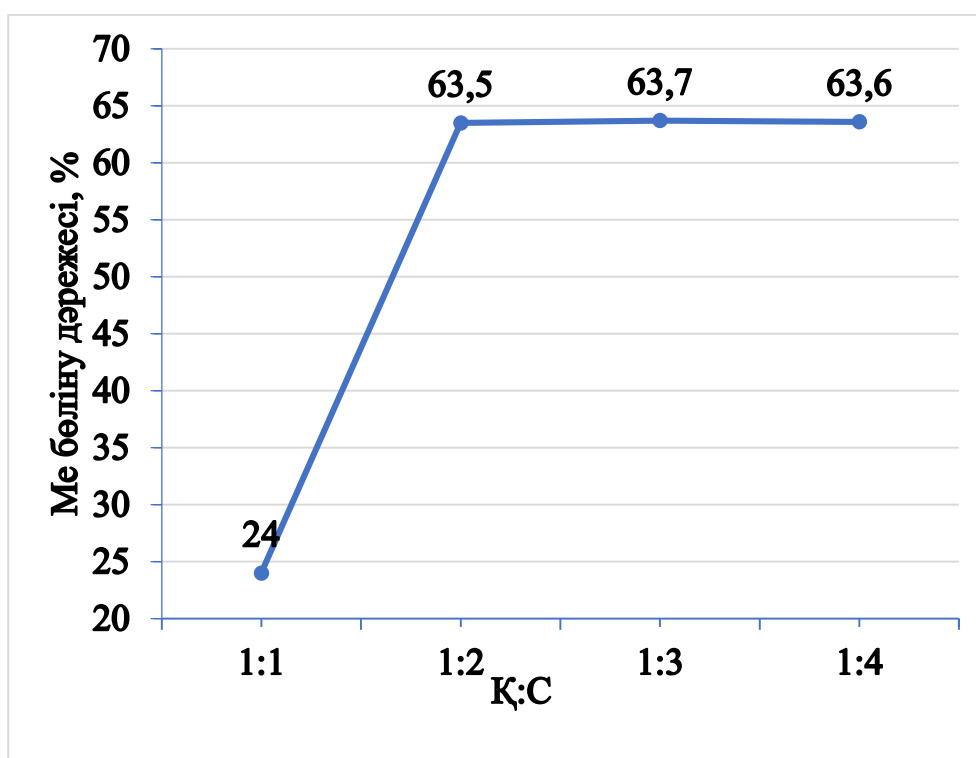
Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, шаймалау ұзақтығы 15 минуттан 1,5 сағатқа дейін созылды. Мысты бөліп алу дәрежесі 15 минут ішінде 34 % болса, ал 1,5 сағат ішінде 63,5 % ұлғайды (2-сурет, 7 кесте).

2.3.4 Мысты бөліп алу дәрежесінің қатты мен сұйық қатынасына әсері

Мысты бөліп алу қатты және сұйық фракцияларының қатынасы: 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 болатыдай қатынастарда жүргізілді. Қышқыл концентрациясы 50 г/дм^3 , шаймалау ұзақтығы – 1,5 сағат, кен ірілігі – 1 мм.

7 Кесте – Мысты бөліп алу дәрежесінің Қ:С әсері

Қ:С	$E_{\text{Cu}}, \%$
1:1	24
1:2	63,5
1:3	63,7
1:4	63,5



5 Сурет – Мысты бөліп алу дәрежесінің Қ:С әсері диаграммасы

Жүргізілген тәжірибе көрсеткендей Қ:С қатынасы ұлғайған сайын, мысты бөліп бізге көп мүмкінді береді. Тәжіребелік жұмысты жалғастыру үшін бізге 1:2 қатынастағы қышқыл концентрациясы қажет (3-сурет).

3 Автоматтандыру

3.1 Автоматтандыру дегеніміз не?

Автоматтандыру — техникалық құрал-жабдықтарды, сондай-ақ энергияны, материалды және ақпаратты алу, түрлендіру, жеткізу (тасымалдау), пайдалану процестеріне адамның тікелей не ішінара қатысуын босататын экономикалық-материалдық тәсілдермен басқару жүйесін пайдалану. Онда:

- 1) Технологиялық, энергетикалық, көліктік, өндірістік процестер;
- 2) Күрделі сұйықтықтарды, кемелерді, өндірістік құрылыстармен кешендерді жобалау;
- 3) Цехты, мекемені, сондай-ақ әскери құрамалар мен бөлімшелерді ұйымдастыру, жоспарлау және басқару;

Ғылыми зерттеулер, медициналық және техникалық диагностикалау, статистика деректерін өңдеу және есепке алу, бағдарламалау, инженерлік есептеу т.б. автоматтандырылады.

Автоматтандырудың мақсаты — еңбек өнімділігі мен өнім сапасын арттыру, жоспарлау, басқару жұмыстарын тиімділендіру, денсаулыққа зиянды жұмыстан адамды босату. Автоматтандыру ғылыми-техникалық прогрестің басты бір бағыты саналады.

Ең алғашқы кері байланысты басқару механизмі грек инженері Ктесибий (285-222 жж. б.з.д.) ойлап тапқан су сағаттары болды. 1620 жылы голландтық ғалым Корнелия Дреббел (1572-1633 жж) термостатты ойлап тапты. (Ескерту: Одан бұрынғы термостаттар тұрмыстық техникаларда кең таралған емес, температура реттегіштері немесе контроллерлері ғана болды.) Жел диірмендерінің шатырларында басқа басқару тетігі қолданылған. Оны 1745 жылы Эдмунд Ли патенттеп алған. Сондай-ақ 1745 жылы Жак де Вокансон (1709-1782 жж) алғашқы автоматтандырылған тігін машинасын жасап шығарды. Ең алғашқы толықтай автоматтандырылған диірменді 1785 жылы Оливер Эванс (1755-1819) ойлап тапты.

Автоматтандырылған жүйе (Автоматизированная система; the automated system) — басқару міндетінің бір бөлігін адам (оператор) орындайтын, басқарылатын объектілер мен автоматты басқару құрылғыларының жиынтығы. Автоматтандырылған жүйеде автоматты құрылғылар басқару объектісінен ақпарат жинақтауды, оны жеткізуді, түрлендіруді және өңдеуді, басқарушы командаларды қалыптастыруды және басқарылатын объектіде олардың орындалуын жүзеге асырады, яғни формальдауға оңай келетін қызметтер. Адам — оператор басқарудың мақсаттары мен критерийлерін анықтайды және жағдайлардың өзгеруі кезінде оларды түзетеді. Іс-әрекеттеріне байланысты автоматтандырылған жүйеде басқарудың автоматтандырылған жүйесі, ғылыми зерттеулердің автоматтандырылған жүйесі, құрылмалаудың автоматтандырылған жүйесі, өндірісті технологиялық дайындаудың автоматтандырылған жүйесі, автоматтандырылған жобалау жүйесі және т.б. түрлері болады.

3.2 Металлургиядағы автоматтандыру міндеттері

Өндірісте жұмыс істейтін адамдар санының азаюымен және қол еңбегінің үлесінің едәуір төмендеуімен халық шаруашылығының барлық салаларында еңбек өнімділігінің артуына өндірістік процестерді қарқындату және есептеу машиналары мен робототехникалық кешендерді кеңінен қолдана отырып, кешенді автоматтандыру негізінде өнеркәсіптік кәсіпорындарды түбегейлі техникалық қайта жарақтандыру арқылы қол жеткізуге болады.

Өндірістік процестердің үздіксіз күшеюі, әдетте, басқару функциясының күрделенуіне әкеледі. Алайда автоматтандыру құралдары мен есептеу техникасының қарқынды дамуы оларды іске асыру мүмкіндіктерін кеңейтеді.

Өндіріс технологиясы мен басқару технологиясының бір уақытта дамуы басқару жүйелерінен бөлек жұмыс істеуге болмайтын өндірістік процестер мен жабдықтардың түрлерін құруға әкелді. Тән мысалдар-5000 м³ заманауи Домна пештері, оттегі түрлендіргіштері, қуатты электр пештері және т. б.

Металлургия өнеркәсібін үздіксіз дамыту негізгі үш бағыт бойынша жүзеге асырылуы қажет:

1) Қуатты жоғары өнімді агрегаттар салу. Көлемі 3200-5000 м³ домна пештерін, 300-550 т оттегі конверторларын, агломерациялық фабрикаларды, агломерациялық ауданы 312 м² машиналарымен және күйдіру машиналары 520 м² бар кесектеу фабрикаларын іске қосу, агломерациялық ауданы 650 м²-ден асатын агломерацияларды жобалау.

2) Өндіріс технологиясын жетілдіру, шикізатты дайындау сапасын жақсарту, оттегін және отынның қосымша түрлерін пайдалана отырып, жаңа қарқынды технологиялық процестерді енгізу, металдың сапасын жақсартуға мүмкіндік беретін әдістерді кеңінен қолдану - вакуумдау, электр қожын қайта балқыту, металды синтетикалық қождармен өңдеу, шойынды күкіртсіздендіруді енгізу және т. б.

3) Metallургиялық процестерді басқару әдістері мен құралдарын жақсарту және бүкіл өндірістік циклды жоспарлау. Metallургиялық агрегаттарға қызмет көрсететін персоналдың біліктілігін арттыру.

Агрегаттардың өнімділігі артып, металл сапасына қойылатын талаптар жоғарылаған сайын Metallургиялық процестерді автоматты бақылау мен басқарудың рөлі артады, өйткені қызмет көрсететін персоналдың субъективті қателіктері металдың, отынның едәуір абсолютті жоғалуына, агрегаттардың өнімділігінің төмендеуіне немесе өнімнің сапасының төмендеуіне әкелуі мүмкін.

Қара металлургияның технологиялық процестерінің үздіксіздігі кешенді автоматтандыру үшін өте қолайлы жағдайлар жасайды.

Учаскелерді, цехтарды толық Автоматтандырудың негізгі алғышарттары учаскелердегі механикаландыру деңгейін арттыру, тетіктерді қашықтықтан басқаруды қолдану, агрегаттарды бақылау-өлшеу аспаптарымен жарақтандырудың жоғары деңгейі болып табылады.

Басқаруды бақылауды автоматтандыру агрегаттардың өнімділігін арттыру және өнім сапасын жақсарту тәсілдерінің бірі болып табылады. Өз кезегінде автоматтандыру Технологиялық технологияға, толық механикаландыруды дамытуға, жабдықты жетілдіруге әсер етеді.

Автоматтандырудың максималды экономикалық әсерін технологиялық қондырғыны жобалау процесінде оны механикаландыру қарастырылған кезде алуға болады, Басқару ресурстарының резервтері құрылады және технологиялық процесс қазіргі заманғы басқару ғылымының - кибернетиканың жетістіктерін пайдалануды ескере отырып құрылады. Есептеулер көрсеткендей, объектілерді автоматтандыруға кететін күрделі шығындар жаңа өндірістік қондырғыларды салуға кететін күрделі шығындардан 3-4 есе тез өтеледі. Сонымен қатар, өнімнің сапасы артып, тұрақтандырылады.

Қара металлургияның ерекшелігі-негізгі технологиялық қондырғыларға тікелей қызмет көрсететін қызметкерлердің салыстырмалы түрде аз саны, сондықтан негізгі металлургиялық қондырғыларды автоматтандыру, әдетте, жұмыс күшінің азаюына әкелмейді, керісінше бақылау және басқару жүйелеріне қызмет көрсету үшін жоғары білікті жұмысшыларды қосымша тарту қажеттілігі туындайды. Сондықтан негізгі қондырғыларды автоматтандыру Технологиялық процестерді ұйымдастыруды және оңтайландыруды жақсарту екенін есте ұстаған жөн. Дәл осы факторлар қосымша шығындарды өтейді. Егер біз көптеген жұмысшылар жұмыс істейтін қосалқы операцияларды (бақылау, әрлеу, орау және т.б.) қарастыратын болсақ, онда автоматтандыру өндіріс қызметкерлерінің санын азайтуға мүмкіндік береді.

Автоматтандыру басқару саласында адамға тән шектеулерді оның психологиялық қоймасының ерекшеліктеріне және денесінің физикалық қасиеттеріне байланысты жеңуге мүмкіндік береді. Сонымен, адамның шектеулі жады, ақпарат ағындарын қабылдау және өңдеу қабілеті шектеулі, өзгеретін сыртқы жағдайларға жауап беру жылдамдығы, шаршау бар. Мұның бәрі басқару процесінде адамның қате әрекеттеріне әкеледі және көбінесе оның басқару қабілетіне кедергі келтіреді. Ал бірқатар маңызды жағдайларды адам болуы тиіс жойылған өндіру, қауіпсіздендіру үшін оның ағзасына зиянды әсер сыртқы ортасы.

Қазіргі уақытта металлургиялық кәсіпорындарда автоматтандыру жүйелерін құру және пайдалану тек автоматты және автоматтандырылған басқару мамандарының функциялары болудан қалды. Олар кәсіпорынның техникалық персоналының барлық топтарының қатысуының әртүрлі нысандарын талап етеді. Сондықтан қазіргі заманғы маман-технолог осы салада жеткілікті кең білімге ие болуы керек.

Автоматты бақылау, реттеу және басқару жүйелерінің қарқынды дамуына металлургия өндірісінің теориясы мен тәжірибесіндегі жетістіктер ықпал етті.

Автоматты реттеу теориясына орыс ғалымдары профессор Вышнеградский, академик Ляпунов, Кеңес ғалымдары профессор Вознесенский, академик Андронов, академик Покров және т.б. үлкен үлес қосты. Профессор Сорокин домендік процесті автоматты реттеу әдістемесін жасау бойынша ауқымды зерттеулер жүргізді. Профессор Готтлиб Домна пешінің жылу жағдайын реттеу әдістемесін ұсынды және жасады. Бұл бағыттағы үлкен жұмыстар профессор Похвисневтің басшылығымен көрінеді. Автоматты реттеу мақсатында домендік процесті реттеу, оның сипаттамалық көрсеткіштерін анықтау әдістерін профессор Рамм жасаған. Домендік өндірісті басқару құралдарының және кейбір датчиктердің алғашқы әзірлемелері техника ғылымдарының докторы Качановтың басшылығымен жасалды. Агломерациялық процестің жекелеген технологиялық параметрлері арасындағы байланысты зерттеу мәселесімен кеңес ғалымдары Абрамов, Сигов, Миллер, Хараш, Коротич, Вегман, Хохлов, Шурхал, Федоровский айналысты.

Соңғы жылдары тозанды кендер мен концентраттарды окучуляциялаудың АБЖБ-ны әзірлеумен байланысты жұмыстар маңызды орын алады. Новокриворожск тау-кен байыту комбинатының (НКГOK) аглофабрикасында Киев автоматика институты әзірлеген агломерат өндірісінің АСУТІ енгізілді. НТМК, ЧМК, КрМК-ға ВНИПИавтоматпром әзірлеген шикіқұрам дайындау АБУТІ енгізілді.

Қазіргі уақытта Өнеркәсіптік пайдалану NLMK ауылшаруашылық өндірісінде ASU үшін микропроцессорлық есептеу кешенін қолданудың техникалық-экономикалық орындылығын растады. Қазіргі заманғы компьютерлік технологиялар мен информатика құралдарының негізінде Домна пешінде және Криворожсталь 9 зауытында, Лебединский, Костамукшский және Михайловский Гоковтың күйдіру машиналарында басқару негіздері құрылды.

Алайда, қазіргі уақытта іске асырылған ең озық АБЖ-да да технологиялық процесті басқару негізінен статистикалық модельдерге негізделген және технологиялық физикаға қатысты үлкен білім талап етілмейді.

3.3 Автоматтандыру объектісі өндірістік процестерді зерттеу әдістері

Металлургиялық агрегаттарды бақылау және реттеу объектілері ретінде қарастыру кезінде оларды бақылау мен реттеудің өнеркәсіптік объектілерінің жалпы қатарынан ерекшелейтін және автоматтандырылған басқару жүйелерін құру кезінде ерекше талаптар қоятын бірқатар ерекшеліктерді көрсетуге болады. Бұл ерекшеліктер келесідей:

1) Металлургиялық процестер күрделі процестер болып табылады-күрделі объектілер, оларды бірқатар қарапайым байланыстарға, қарапайым объектілерге, қарапайым процестерге бөлуге болады.

2) Процестердің физикалық күрделілігі, көп факторлы болуы негізгі металлургиялық агрегаттар көп байланысты объектілер болып табылатындығына әкеледі, олардың жұмыс істеуі өзара әсер ететін бірқатар кіріс және шығыс шамаларымен анықталады.

3) Металлургиялық процестер, негізінен, жылу, зат және импульстің негізгі заңдарына бағынатындығына қарамастан, нақты өндірістік процестердің жеткілікті толық математикалық модельдері жоқ.

4) Негізгі металлургиялық объектілердің күрделілігі және агрегаттардың әртүрлі жерлерінде қолданылатын бұзылулардың әртүрлілігі объектілердің бақыланатын шамалар мен бақылау әсерлерінің көптігімен сипатталатындығына әкеледі.

5) Металлургиялық нысандар негізгі параметрлерді автоматты бақылауды жүзеге асыруда айтарлықтай қиындықтармен сипатталады. Бұл қиындықтар негізінен өндіріс процесіне қатысатын ортаның жоғары температурасы мен химиялық агрессивтілігіне байланысты.

6) Металлургиялық объектілер, әдетте, сызықтық емес объектілер класына жатады, яғни мінез-құлқы сызықтық емес математикалық өрнектермен сипатталатын объектілер.

Металлургиялық агрегаттарды автоматтандыру бойынша жұмыс дербес зерттеу болып табылады және белгілі бір жоспар бойынша жүргізілуі тиіс. Агрегаттарды автоматтандыру бойынша жұмыстың келесі кезеңдерін бөліп көрсетуге болады.

а) Агрегатты тексеру.

Міндеті: объектінің ақауларын анықтау және жою, автоматтандыруға дейін оның жұмысының техникалық-экономикалық көрсеткіштерін анықтау

б) Қосалқы жабдықты тексеру.

3.4 Металлургия өнеркәсібін автоматтандыру

Металлургия өнеркәсібінің барлық қазіргі заманғы кәсіпорындарында қазіргі уақытта өндірістік қуаттар мен технологиялық процестерді толық жаңғырту жүргізілуде. Бұл автоматтандырылған басқару жүйесін енгізу қажеттілігін тудырады. Бұл әсіресе қара және түсті металдарды өңдейтін зауыттарға қатысты.

Қара және түсті металлургия зауыттарына енгізілетін барлық автоматтандырылған жүйелердің басты ерекшелігі - бұл кәсіпорын шеңберіндегі барлық процестердің жүйелі тәсілі. Оларға жылу, экологиялық, металлургиялық және басқару процестері жатады. Мысалы, жылу процестерін басқаруды құру ғана емес, сонымен қатар олардың оңтайлы, үздіксіз ағынын қамтамасыз ету өте маңызды. Бұл өз кезегінде өнімнің сапасын едәуір жақсартады, шығындарды үнемдейді және өнімділікті арттырады. Бұл металлургиялық кәсіпорын жұмысының тиімділігі мәселесіне қатысты болса, ол қоршаған орта үшін экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етумен тікелей байланысты. Осы саладағы кәсіпорындар қызметінің ықтимал теріс

салдарымен ешқандай пайда ақтала алмайды. Сонымен, автоматтандырылған жүйе кәсіпорынның тиімділігін арттыру үшін ғана емес, сонымен қатар азот оксидтері, технологиялық шаң, көміртегі оксидтері, және т.б. зиянды шығарындыларды азайту үшін де жұмыс істеуі керек.

Металлургия өнеркәсібіндегі автоматтандырылған басқару жүйесінің міндеттері:

1) Кәсіпорынның және оның әрбір жеке технологиялық процесінің ұтымды жұмыс режимдерін орнату және баптау.

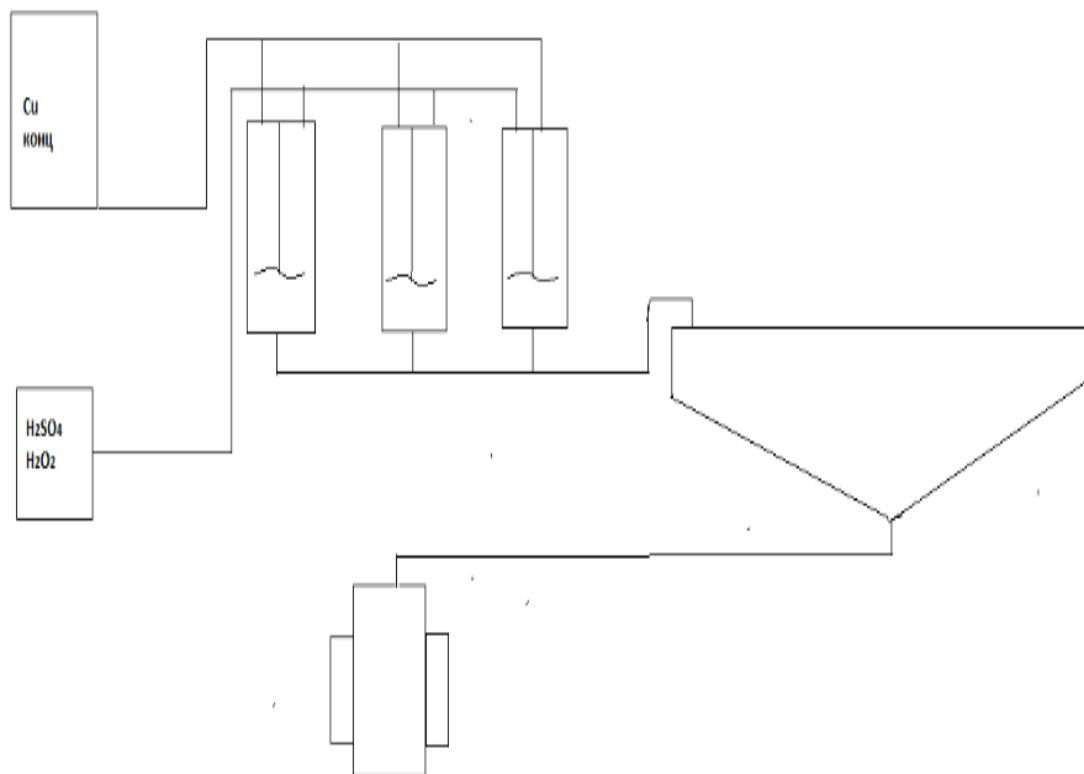
2) Кәсіпорын қызметінің берілген режимінің дұрыс жұмыс істеуін қолдау.

3) Шығындарды, төтенше жағдайларды, тоқтап қалуды және басқа да қолайсыз факторларды азайту арқылы өнімнің сапасын арттыру.

Қыздыру құрылғыларының жұмыс режимін автоматтандыру энергетикалық отынның нақты шығынын шамамен он пайызға төмендететіні тәжірибе арқылы дәлелденді.

Металлургия өнеркәсібінде кәсіпорынның барлық салаларын бірыңғай басқару орталығына бағындыруға мүмкіндік беретін кешенді автоматтандыруды енгізу негізделген. Бұл шикізатты жеткізу бөлімі, Домна пешінің құрамдас бөліктерін жүктеу жүйесі, шығыс желілері, есеп саласы, техникалық бақылау және т. б.

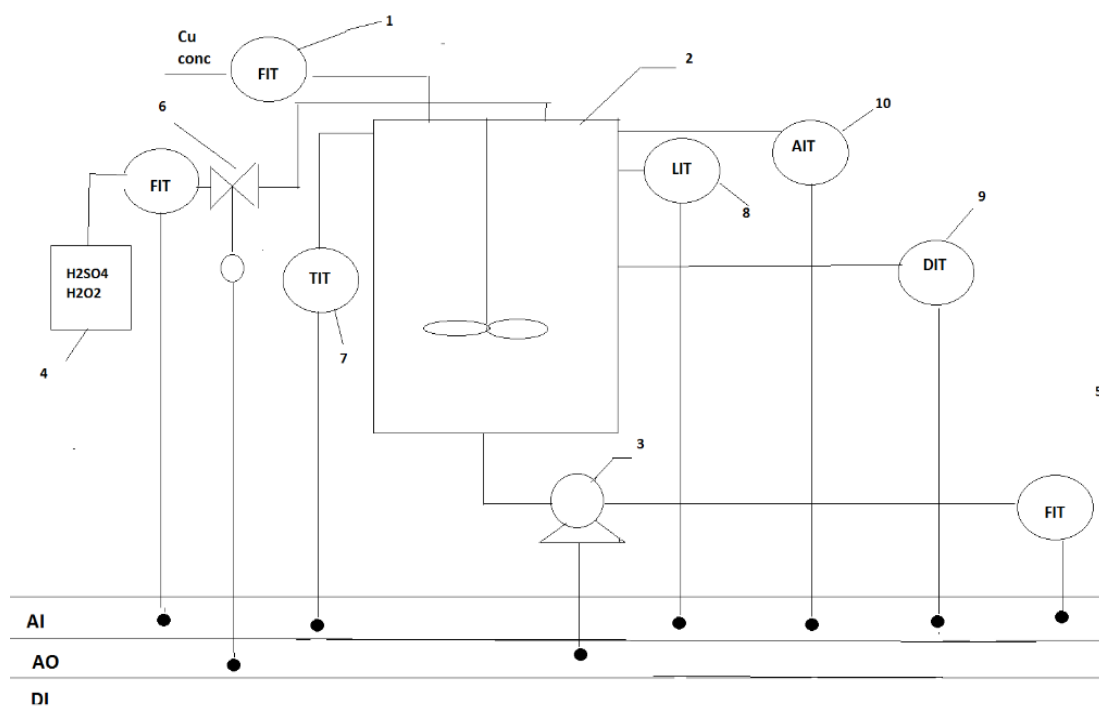
3.4.1 Агитациялық шаймалау процесін автоматтандыру



6 Сурет – Агитациялық шаймалау технологиясы

Агитаторларда болып жатқан процестердің қарапайымдылығына қарамастан, жұмыс кеңістігінің бүкіл көлемін тиімді қолдана отырып, олардың жұмысына оңтайлы режимде қол жеткізу өте қиын. Агитатордың жұмыс режимін шөгінді қабатымен тұрақтандыру өте қиын, онда температураның ауытқуы процестің гидродинамикасына қолданылады. Мұндай агитаторлар автоматтандыруды қажет етеді.

"Каскад" сериялық жүйесінің элементтерінде орындалған агитаторға гидравликалық жүктеменің АҚЖ (автоматты реттеу жүйесі) схемасы (1-сурет) агитаторға берілетін реагент шығысы бойынша және құрама резервуардағы деңгей бойынша номиналдан 50 % асатын жүктемені реттеуді қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, жүйе сүзгілерден шыққан фильтратты қойылтқышқа түсуді реттейді. Endress and Hauser радарлы, электронды, изотопты, датчиктерімен жергілікті көрсеткіштер орналасқан. Аналогты және дискретті сигналдарымен операторға көрсеткіштер көрініп тұрады.



- 1 - Шығын датчигі Endress and Hauser маркалы (трансмиситтер),
 2 - агитатор FLSmith маркалы, 3 - центртепкіш насос Weir minerals
 маркалы, 4 - реагентті резервуар, 5 - сигналдар, 6 - клапан Clarksson
 маркалы, 7 - термометр, 8 - деңгей датчигі Levelflex FMR-51 , 9 -
 тығыздық датчигі, 10 – рН-метр

7 Сурет – Агитаторды автоматты жүйелік бақылау схемасы.

Схемада көрсеткендей, мыс концентратын агитаторға қаншалықты көлемін көрсетіп отыратын шығын өлшегішімен бақылай аламыз. Ерітіндіге

келетін болсақ, H_2SO_4 мен H_2O_2 керекті концентрацияда оператор арқылы жүргізіліп, бақыланады. Агитаторға келетін жерінде трассадағы ағынды тоқтата алатын жергілікті түрде және оператор тоқтата алады. Толығырақ айта кетсек, агитаторға температура көрсеткіші, деңгей көрсеткіші, рН-метр, тығыздық датчигі орналасқан. Айта кететін жайт, тығыздық датчигі радиоактивті цезий 92 изотоп элементі қолданады. Арнайы таблетка түрінде келеді, сырты қорғасынмен жасалған. Цезийдің 92 изотобы өте ұзақ өмір сүргендіктен осы түрі өндірісте көп қолданады. Агитатордың импеллерін арнайы гидравликалық двигателі бар. Агитатордан шыққан ерітіндіні тасымалдайтын насосты көріп тұрмыз. Насосты айналымы арқылы тығыздық пен шығынды бақылай аламыз. Айналымды көтерген сайын тығыздық түседі. Бұл жерден не байқаймыз? тығыздық шығынға кері пропорционал екендігін байқадық. Схеманын төмен жағын қарасаңыздар, нүктелермен белгілендер сигнал болып табылады. Қазіргі өндірісте екі сигналды пайдаланады. Олар: аналогты және дискретті. Аналогты сигналмен кез келген мәнді бере аласын, мысалы клапанға 0 мен 100 дейінгі мәнді беруге болады. Яғни осы диапазонда кез келген көрсеткіште клапан ашыла алады. Дискретті сигнал екі мәнді бере алады. Клапанды ашу немесе жабу командалары. Автоматтандыру жүйесінде 24 В кернеу қолданады. Қорыта айтқанда, агитациялық шаймалауға жоғары да көрсетілген приборларды қолдандым.

ҚОРЫТЫНДЫ

Түсті металл кендерінің жаңа кен орындарын игеруге арналған қаражаттың тапшылығы техногендік шикізатты кәдеге жаратуға қызығушылық тудырады (қорларды нақтылау, қоймалау шарттары, оны қайта өңдеу технологиясы).

Бастапқы және аса баланстан тыс шикізатты өндеудің заманауи әдістерінің бірі сульфидтердің пирометаллургиялық тотығу процестерін болдырмайтын гидрометаллургия болып табылады. Соған байланысты жұмыс Ақтоғай кен орнының мысалында сульфидті мыс кендерін шаймалау процесін зерттеуге арналған.

Зерттеу объектісі ретінде Ақтоғай кен орнының сульфидтік кендерін байыту барысында алынған сульфидтік концентрат таңдалды. Концентрат құрамындағы негізгі компоненттердің орташа құрамы келесідей: Cu (25,18 %), Fe (28,8 %), S (33,2 %), Si (4,0 %), Al (2,1 %), Zn (1,8 %), K (0,8 %), Mg (0,72 %), Ca (0,4 %), Na (0,42 %).

Шаймалау процесі күкірт қышқылының сәйкес концентрациясында сутегі асқын тотығының кен массасының 10 %-ын құрайтын мөлшерде араластырылды. Шаймалау процесінде - ерітінді мен концентраттың әртүрлі қатынасында, күкірт қышқылының әртүрлі концентрациясында, әртүрлі уақыт ұзақтығында және әртүрлі кен ірілігінде жүргізілді.

Бірінші кезекте шаймалау процесіне кен ірілігінің мысты бөліп алу дәрежесінің әсері зерттелді. Нәтижелер кен ірілігінің мөлшері азайған сайын, шаймалау дәрежесі артатынын көрсетті. Шаймалау нәтижелері көрсеткендей қышқыл концентрациясы 50 г/дм³ кезінде мысты бөліп алу дәрежесі 63,5 % жеткенін көруге болады. Мысты бөліп алу дәрежесі 15 минут ішінде 34 % болса, ал 1,5 сағат ішінде 63,5 % ұлғайды. Жүргізілген тәжірибе көрсеткендей Қ:С қатынасы ұлғайған сайын, мысты бөліп бізге көп мүмкінді береді.

Мыстың сульфидтік минералдарын асқын сутегі қосылған күкірт қышқылы ерітінділерімен шаймалау процесін зерттеп, шаймалау процесіне әсер ететін әртүрлі параметрлердің тиімді шарттарын таңдадық.

Чандық шаймалау агитаторын қазіргі заманға сай және процесті бақылау, басқаруды жасадық.

ПАЙДАЛЫНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Послание Президента Республики Казахстан – Лидера нации Н.А. Назарбаева народу Казахстана «Казахстанский путь – 2050: Единая цель, единые интересы, единое будущее» // Казахстанская правда. – 17.01.2014. – №334.
- 2 Справочник месторождений Казахстана. // Электронная версия на сайте <http://geology.gov.kz/ru/informatsiya/spravochnik-mestorozhdenij-kazakhstana>
- 3 Цветная металлургия Республики Казахстан. // Электронная версия на сайте <http://www.nomad.su/?a=4-200803270432>
- 4 Минерально-сырьевая база Республики Казахстан. // Электронная версия на сайте <http://www.refsr.ru.com/referat-10587-2.html>
- 5 Сырьевая база свинца, цинка, меди и золота Казахстана. – Алматы: Ғылым, 2002. – 102 с.
- 6 Подчайнова В.Н. Медь. – М.-Свердловск: Металлургия, 1991. – 249 с.
- 7 Карякин Ю.В., Ангелов И.И. Чистые химические вещества. – М.: Химия, 1974. – 328 с.
- 8 Вольдман Г.М., Зеликман А.Н., Теория гидрометаллургических процессов. – М.: Интермет Инжиниринг, 2003. – 462 с.
- 9 Лотош В.Е. Технологии основных производств в природопользовании - Екатеринбург: Полиграфист, 2001.
- 10 Муқанов Д. Металлургия Казахстана: состояние, инновационный потенциал, тренд развития. – Алматы: Ғылым, 2005. – Т. 5. – 290 с.
- 11 Кенжалиев Б.К. Гидрометаллургический метод переработки упорного сырья – шаг в будущее металлургии. // Доклады НН РК. Серия химическая. – 2009. – № 2. – С. 95-100.
- 12 Кучное выщелачивание меди на Коунрадском руднике. // Электронная версия на сайте <http://cyberleninka.ru/article/n/kuchnoe-vyschelachivanie-medi-nakounradskom-rudnike>
- 13 Оспанов Х.К. Кинетика гомогенных и гетерогенных химических процессов. – Алматы: КазНУ, 1997. – 195 с.
- 14 Оспанов Х.К. Физико-химические основы избирательного растворения минералов. – М.: Недра, 1993. – 175 с.
- 15 Набойченко С.С., Цогтхангай Д. Гидротермальная переработка халькозинового концентрата с использованием автоклавного окислительного выщелачивания // Известия вузов. Цветная металлургия. – 1983. – № 1. – С. 55-58.

16 Миронов В.Е. и др. Аммиачная гидрометаллургия. – Новосибирск: Наука, 2001.

17 Томина В.Н., Хренников А.А., Лебедь А.Б., Набойченко С.С. Кучное выщелачивание меди из руды месторождения «Волковское». // Известия ВУЗов. Цветная металлургия.– 2010. – №4. – С. 3-6.

18 Кунаев А.М., Бейсембаев Б.Б., Каражанов Н.А., Кенжалиев Б.К. и др. К вопросу о кинетике растворимости медных минералов в условиях подземного и кучного выщелачивания. – Алма-Ата: Наука, 1981. 36

19 Кенжалиев Б.К. Кучное выщелачивание меди и забалансовых руд Актогайского месторождения. – Алматы: Ғылым, 1983.

20 Халезов Б.Д., Шурыгин Ю.А. и другие. Выщелачивание меди из руд Жезказганского месторождения. – Алма-Ата: Наука, 1976.

21 Медведев А.С., Ту Со, Птицын А.М. Комбинированная технология переработки удоканского сульфидного медного концентрата. // Известия ВУЗов. Цветная металлургия.– 2012. – №2. – С. 17-20.

22 Дьяченко А.Н., Крайденко Р.И. Переработка окисдно-сульфидных медных руд с помощью хлорида аммония. // Известия ВУЗов. Цветная металлургия.– 2010. – №5. – С. 3-6.

23 Набойченко С.С., Доржпуров М. Автоклавное сернокислотное выщелачивание халькозинового концентрата месторождения Эрденет // Изв.вузов. Цветная металлургия. – 1982. – № 6. – С. 29-31.

24 Сұлтанбаева А.Б., Ақпанбаев Р.С., Усольцева Г.А., Баймаханова С. Влияние технологических параметров на выщелачивание меди из сульфидных концентратов. / Труды Международной научно-практической конференции «Подготовка инженерных кадров в контексте глобальных вызовов XXI века» – Т.2.– 12 апреля 2013 г. – Алматы: КазНТУ, 2013. – С. 454-457.

25 Лисовский Г.Д., Лобанов Д.П., Назаркин В.П. и др. Кучное и подземное выщелачивание металлов. /Под ред. С.Н. Волощука. – М.: Недра, 1982. – 113 с.

26 Цогтхангай Д., Мамяченков С.В., Анисимова О.С., Набойченко С.С. Кинетические закономерности выщелачивания медных концентратов азотной кислотой. // Известия ВУЗов. Цветная металлургия. – 2011. – №6. – С. 8-12.

27 Иванов В. А., Лисовский Д. И., Сазонов Г.Г., Шапировский М.Р. трихлорсиланның математикалық моделін қолдана отырып, сутекті қалпына келтіру процесін автоматты түрде оңтайландыру жүйесі.28 Гутов Е. И., Иванов В.А., Кишиев В.В. Лисовский Д.И. вольфрам ангидридін сутегімен қалпына келтіру процесін оңтайлы басқару алгоритмдерін әзірлеу.

28 Бурова И.А., Салихов З.Г., Ибраев А. Х., Айдаров Т. А., Науменко В. И. қайнаған қабатта күйдірілген мырыш концентраттарын қышқылмен сілтілеуді процесін автоматтандыру.30 Шокобаев Т. Д. Дипломное

проектирование. / Методические указания по экономическому обоснованию дипломных проектов. – Алматы: КазНТУ, 1996. – С. 1-25.