

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Металлургиялық процестер және арнайы материалдар технологиясы»
кафедрасы

Набиев Талғат Сабитулы

«Қиын байытылатын кедей кендерден мысты бөліп алу жағдайларын зерттеу»
Тақырыбына

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B070900 – Металлургия

Алматы 2019

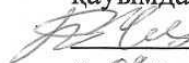
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Металлургиялық процестер және арнайы материалдар технологиясы»
кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
МПЖ және АМТ кафедра
меңгерушісі, PhD докторы,
техн. ғыл. кандидаты,
қауымдас-ған профессор

 Чепуштанова Т.А.
« 02 » 05 2019 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

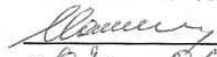
«Қиын байытылатын кедей кендерден мысты бөліп алу жағдайларын
зерттеу»
тақырыбына

5B070900 – Металлургия

Орындаған

Набиев Т.С.

ғылыми жетекші: PhD, ассист.-проф.

 Мамырбаева К.К.
« 02 » 05 2019 ж.



Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Металлургиялық процестер және арнайы материалдар технологиясы»
кафедрасы

5B070900 – Металлургия

БЕКІТЕМІН

МПЖ және АМТ кафедра
менгерушісі PhD докторы,
техн. ғыл. кандидаты,
қауымдасқан профессор
Чепуштанова Т.А.
« 08 » 10 2018 ж.

Дипломдық жұмысты даярлауға
ТАПСЫРМА

Студентке Набиев Талғат Сабитұлы

Жұмыстың тақырыбы «Қиын байытылатын кедей кендерден мысты бөліп алу жағдайларын зерттеу»

Университет ректорының «08» қазан 2018 жылғы №1113-б бұйрығымен бекітілген.

Орындалған жұмыстың өткізу мерзімі: «02» мамыр 2019 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы мәліметтері: мыс, мыстың қиын байытылатын аралас кендері, мысты гидрометаллургиялық технологиямен өндіру әдістері, аралас кендерді тікелей және алдын ала күйдіріп шаймалау, күйдіру және шаймалау процестеріне термодинамикалық талдаулар жүргізу.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

- а) кіріспе, жұмыстың өзектілігі және тәжірибелік маңыздылығы көрсетілген;
- б) жұмыс тақырыбы бойынша әдеби шолу көрсетілген;
- в) эксперименттік бөлім;
- г) экономикалық бөлім;
- д) қауіпсіздік және еңбек қорғау бөлімі;

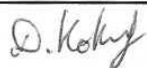
Графикалық материалдардың тізімі: жұмыстың тақырыбы бойынша қорытындыны қоса 15 слайд.

Ұсынылған негізгі әдебиеттер: 19 әдеби көздер

Дипломдық жұмысты (жобаны) даярлау
КЕСТЕСІ

№ п/п	Бөлім атаулары, дайындалатын сұрақтардың тізімі	Ғылыми жетекшіге, кеңесшілерге өткізу мерзімі	Ескерту
1	Кіріспе	08.02.2019	
2	Аналитикалық бөлім	22.02.2019	
3	Тәжірибелік бөлім	16.03.2019	
4	Экономикалық бөлім	05.04.2019	
5	Еңбекті қорғау	12.04.2019	
6	Қорытынды	19.04.2019	
7	Норма бақылау	15.05.2019	

Жұмыс бойынша оларға қатысты бөлімдердің көрсетілуімен кеңес
берушілердің
қолтаңбалары

Бөлім атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтаңба қойылған мерзімі	Қолы
Экономика бөлімі	Мамырбаева К.К PhD докторы, ассист.-проф.	06.05.2019	
Қауіпсіздік және еңбек қорғау бөлімі	Мамырбаева К.К PhD докторы, ассист.-проф.	06.05.2019	
Норма бақылау	Көккөзов Д.Қ, техника және технология магистрі	15.05.2019	

Ғылыми жетекші  (Мамырбаева К.К.)

Студент тапсырманы орындауға алды  (Набиев Т.С.)

Күні "15" 05 2019 ж.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыс тапсырмадан, кіріспеден, 4 тараудан, қорытындыдан және қолданылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс дербес компьютерде терілген 35 бетте баяндалған және оның құрамына 10 суреттер, 11 кестелер кіреді. Қолданылған әдебиеттер тізімі 19 атаудан тұрады.

Өзекті сөздер: мыс, шаймалау, үйінді шаймалау, қышқыл, термодинамика бөліп алу дәрежесі.

Дипломдық жұмыстың мақсаты – қиын байытылатын кедей кендерден мысты бөліп алу жағдайларын зерттеу.

Зерттеу объектісі: Қоңырат мыс кен орнынан алынған сынамалар.

Дипломдық жұмыста мыс, мыс минералдары, олардың әлемдегі және еліміздегі қоры, гидрометаллургиялық процестердің негізгі түрлері, мысты шаймалау арқылы бөліп алу әдістеріне әдеби шолу нәтижелері, қиынбайытылатын кедей кендерден мысты бөліп алуға қышқыл концентрациясының, қатты мен сұйық қатынасының, шаймалауға кеткен уақыттың, кен ірілігінің, сонымен қатар күйдірілген кеннен мысты бөліп алу бойынша жүргізілген зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

Алғашқыда мыс кенін тікелей шаймалау барысында 63,5 пайыз қол жеткіздік, ал 550-750 °C аралығында күйдірірілген кендердің шаймалану дәрежесі 63,5-80,8 артты. Бұл күйдірілмеген кеннен мыстың шаймалану дәрежесінен 7-18 пайыз ға артты.

Сонымен қатар, жұмыста қоршаған ортаны қорғауға қатысты және зерттеуге жұмсалатын экономикалық көрсеткіштер мен іс-шаралар қарастырылды.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа состоит из задания, введения, 4 главы, заключения и списка использованной литературы. Работа изложена на 35 страницах, набранных на персональном компьютере, и включает в себя 10 рисунков, 11 таблиц. Список использованной литературы состоит из 19 наименований.

Ключевые слова: медь, выщелачивание, кучное выщелачивание, кислота, термодинамика, степень извлечения.

Цель дипломной работы – изучение условий извлечения меди из труднодоступных бедных руд.

Объект исследования: пробы взятые из медного месторождения Конырат.

В дипломной работе представлены медные, медные минералы, их запасы в мире и стране, основные виды гидрометаллургических процессов, результаты литературного обзора методов выщелачивания меди путем выщелачивания, результаты концентрации кислот на извлечении меди из труднодоступных бедных руд, твердого и жидкого отношения, времени выщелачивания, крупности руды, а также влияния на степень извлечения меди от обожженных руд.

Вначале при непосредственном выщелачивании медной руды мы добились 63,5 процента, а в пределах 550-750 °С степень выщелачивания отожженных руд увеличилась на 63,5-80,8. Это увеличилось на от 7 до 8 процентов от степени выщелачивания меди из необожженной руды.

Кроме того, в работе были рассмотрены экономические показатели и мероприятия, связанные с охраной окружающей среды и направленные на исследование.

ANNOTATION

The thesis consists of a task, introduction, 4 chapters, conclusion and references. The work is presented on 35 pages, typed on a personal computer, and includes 10 figures, 11 tables. The list of references consists of 19 items.

Key words: copper, leaching, heap leaching , acid, thermodynamics, extraction degree.

The purpose of the thesis is to study the conditions of extraction of copper from hard-to-reach poor ores.

Object of research: samples taken from the copper Deposit Konyrat.

The thesis presents copper, copper minerals, their reserves in the world and the country, the main types of hydrometallurgical processes, the results of a literary review of methods of leaching copper by leaching, the results of the concentration of acids on the extraction of copper from hard-to-poor ores, solid and liquid ratio, leaching time, ore size, and the impact on the degree of extraction of copper from.

Beginning with the direct leaching of copper ore, we achieved a 63.5 percent, and in the range of 550-750 °C the degree of leaching of burnt ore increased by 63.5 is 80.8. This increased by 7-18 percent of the leaching rate of copper from unburned ore.

In addition, the work considered economic indicators and activities related to environmental protection and aimed at research.

МАЗМҰНЫ

	Кіріспе	9
1	Қиын байытылатын кедей кендерден мысты бөліп алу әдістеріне әдеби шолу	11
1.1	Мыс	11
1.2	Мыс кендері және минералдары	11
1.3	Гидрометаллургиядағы процестер мен операциялардың негізгі түрлері	13
1.4	Шаймалау. Шаймалау түрлері	14
1.5	Мыс кенін шаймалау	16
2.	Эксперименттік бөлім	20
2.1	Зерттеу жұмыстарына қолданылған реагенттер мен қондырғылар	20
2.2	Мысты ерітіндіде анықтау әдістемесі	20
2.3	Мыс минералдарын күйдіруге дейінгі термодинамикалық талдау нәтижелері	21
2.4	Күйдірілмеген және күйдірілген кен үлгілерін шаймалау нәтижелері	23
2.5	Шаймалау нәтижелері	24
2.5.1	Мысты бөліну дәрежесінің қышқыл концентрациясына әсері	24
2.5.2	Күкірт қышқылымен мысты бөліп алу дәрежесінің уақытқа әсері	25
2.5.3	Мысты бөліп алу дәрежесінің қатты мен сұйық қатынасына әсері	26
2.5.4	Кен ірілігінің мысты бөліп алу дәрежесіне әсері	26
2.6	Күйдірілген үлгілерді шаймалау нәтижелері	27
3.	Экономикалық бөлім	29
3.1	Негізгі және қосалқы материалдар шығынын есептеу	29
3.2	Ғылыми-зерттеу жұмысының жинақ қорын есептеу	29
4.	Қауіпсіздік және еңбек қорғау бөлімі	32
4.1	Қауіпсіздік шаралары	31
4.2	Еңбек қорғаудағы өндірістік тазалық шаралары	32
	Қорытынды	34
	Пайданылған әдебиеттер тізімі	35

КІРІСПЕ

Әлемде 70-тен астам түсті металдар кең қолданысқа ие. Оларды 14 сала өндіреді. Ғылыми-техникалық революция нәтижесінде түсті металдар кең қолданысқа ие болды. Реактивті ұшақтар, ғарыш кемелерін, атом реакторларын жасау үшін ерекше қасиеттері бар жаңа конструкциялық материалдарды талап етті.

Кен және техногендік шикізаттан дайын өнімдерге компоненттерді алу дәрежесін арттыру металлургияның негізгі міндеттерінің бірі. Кен шикізаты әртүрлі металдардан тұрады. Шикізатты пайдаланудың тиімділігін арттыру оның құрамындағы барлық металдарды бөліп алу міндетін қояды. Түсті металдардың кендеріндегі негізгі компонентінің үлесі сирек жағдайларда 1 пайыздан асады, ал кен орындарының көбінде тіпті одан қатты төмен болады.

Түсті металдардың көп бөлігі бай кендерден пирометаллургиялық әдістермен алынады, бірақ бай кендердің жылдан жылға азаюына байланысты оларды өңдеуде гидрометаллургиялық технологиялар қоланылады.

Гидрометаллургия - металдарды кендерден, концентраттардан, аралық өнімдер мен металлургиялық өндіріс қалдықтарынан, сондай-ақ қайталама шикізаттан оларды химиялық реагенттердің су ерітінділерімен өңдеу кезінде су фазасына шығарып, кейіннен металл ерітіндісінен немесе олардың қосылыстарынан бөліп шығару процестері. Минералдық шикізатты кешенді өңдеу үшін заманауи технологияларды енгізу қажет. Олар өнеркәсіптік өндірістің тиімділігін анағұрлым арттырады және мақсаттылығын анықтайды. Осылайша, негізгі металдарды салыстырмалы түрде толық алу кезінде өндірілетін шикізаттың аз ғана бөлігі ғана пайдаланылады.

Қазіргі заманғы металлургияның маңызды проблемасы түсті металдар өндірісін қалдықсыз немесе қалдықсызға айналдыру болып табылады. Қалдықтар проблемасы минералдық шикізаттың барлық компоненттерін неғұрлым толық пайдаланумен тікелей байланысты. Шикізаттың пайдаланылмайтын компоненттері оларды залалсыздандыру және жинау немесе көму үшін үлкен шығындарды қажет етеді. Тіпті залалсыздандырылған өнімдер түрінде де металлургиялық өндірістің қалдықтары қоршаған ортаға зиян келтіреді, өйткені сыртқы жағдайлардың әсерінен олардың жүріс-тұрысын орналастыру және жүйелі бақылау үшін маңызды аумақтарды талап етеді. Осылайша, қазіргі заманғы технологиялар қоршаған ортаны қорғау талаптарына жауап беруі, зиянды бөлінулер көзі болмауы және экожүйеге теріс әсер етпеуі тиіс. Бұл жағдайлар металлургия кәсіпорындары орналасқан аудандарда қоршаған ортаның ластану деңгейі сыни жағдайға жақындағанда, әсіресе қазіргі уақытта өзекті болып отыр.

Түсті металдардың ішіндегі мыс металы техниканың түрлі салаларында бұрыннан және табысты қолданылады. Бүгінде бұл өте кең спектр: радиотехника, энергетика, химиялық технология, металлургия.

Қазақстан мыс өндіру бойынша алғашқы 10-дықта, бірақ біздің мыс кендеріміздің полиметалды, қиын байытылатын және мыстың үлесі төмен болып келеді.

Қазіргі уақытта металлургиялық практикада іске асырылатын аралас мыс кендері мен концентраттарын қайта өңдеудің пирометаллургиялық схемалары қайта өңдеу схемаларының көп сатылы болуымен, реагенттердің үлкен шығындарымен, бағалы шикізатты алудың төмен тиімділігімен сипатталады. Нәтижесінде флотациялық байыту тәсілдері пирометаллургиялық өңдеу үшін сапалы концентраттарды алу қиынға түседі.

Осылайша қиынбайытылатын, аралас, кедей мыс кендерін өңдеу технологияларын жетілдіру маңызды мәселе болып табылады.

Дипломдық жұмыстың мақсаты - қиынбайытылатын кедей кендерден мысты бөліп алу жағдайларын зерттеу болып табылады.

Қойылған мақсатты жүзеге асыру үшін келесідей міндеттер қойылды:

- мысқұрамды кедей және қиынбайытылатын шикізаттарды өңдеу жолдары туралы әдеби мәліметтерді талдау және тандап алынған зерттеу бағытын негіздеу;
- бастапқы аралас кендерді физика-химиялық талдау;
- термодинамикалық (HSC 5.0 бағдарламасы арқылы) талдау жүргізу;
- әр түрлі жағдайларда аралас мыс кендерін шаймалау эксперименттерін жүргізу соның ішінде:
 - 1) аралас кендерді тікелей күйдірісіз шаймалау;
 - 2) кендерді алдын ала күйдіріп шаймалау;
- алынған міндеттерді есептеу салыстыру және тәуелділік графиктерін тұрғызу;
- зерттеу жұмыстарына кеткен шығындарды есептеу;
- зертханадағы техника қауіпсіздігін сақтау және қоршаған ортаны қорғау іс-шараларын қарастыру.

Зерттеу нәтижелері дәл, сенімді және қайталап жасауға мүмкін болуы үшін келесідей физико-химиялық талдау әдістері қолданылды: рентгено-дифрактометрия, рН-метрия, петрография, термодинамикалық (HSC бағдарламасы) талдау.

Дипломдық жұмыстың ғылыми жаңалығы – Қазақстандық аралас мыс кендерін алдын ала күйдіріп шаймалау режимдері анықталды.

Дипломдық жұмыстың тақырыбы бойынша зерттеулер Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ Ұлттық Техникалық Зерттеу Университетіндегі «Металлургиялық процестер, жылу техникасы және арнайы материалдар технологиясы» кафедрасындағы зертханаларында жүргізілді.

1 Қиын байытылатын кедей кендерден мысты бөліп алу әдістеріне әдеби шолу

1.1 Мыс

Мыс – мыңдаған жылдар бұрын қолданысқа енген жұмсақ, түсті металл. Мыс, Cu – элементтердің периодтық жүйесінің I тобындағы химиялық элемент, атомдық нөмірі 29, атомдық массасы 63,5. Қыздырғанда ауада CuO және Cu₂O дейін тотығады, галогендермен, S, Se, HNO₃, H₂SO₄-пен әрекеттеседі. Аммиак, цианидтермен т.б. кешенді қосылыстар түзеді. Сульфид концентратын гидрометаллургиялық әдіс арқылы құрамында мысы бар минералдарды күкірт қышқылымен (немесе NH₃ ерітіндісімен) өңдеп, одан әрі электролиздеу арқылы алады. Мыс – алтын-қызғылт түсті пластикалық металл, ауада оксидті пленкамен тез жабылады, ол оған тән қарқынды сарғыш-қызыл түс береді.

Мыстың жоғары жылу және электр өткізгіштігі бар (күмістен кейін металдар арасында электрөткізгіштігі бойынша екінші орынды алады). Мыс диамагнетик болып табылады [1, 2].

1.2 Мыс кендері және минералдары

Мыс кендері – олардың өнеркәсіптік пайдаланылуы техникалық жағынан мүмкін және экономикалық жағынан орынды болатын осындай қосылыстар мен концентрациялардағы мыс бар табиғи минералды түзілімдер.

Мыс кендері сульфидті, оксидті және аралас болып бөлінеді. Көптеген өнеркәсіптік кен орындарының бастапқы кендерінде мыс сульфидті түрде кездеседі. Тотығу аймағында карбонаттар, силикаттар, сульфаттар, оксидтер және т.б. қосылыстар бар. 200-ден астам мысы бар минералдар белгілі. Сульфидті кендердегі мыстың негізгі минералдары, олардың үлесіне әлемдік қорлардың 90 пайыздаа астамы және мыс өндіру тиесілі: халькопирит (34,5 пайызға жуық Cu), борнит (52-65 пайыз аралығында Cu) және халькозин (79,8 пайызға жуық Cu). Мыс-никель кен орындарында елеулі мөлшерде кубанит (22 пайыз шамасында Cu), таза мыс кен орындарында: 98-100 пайызға дейін.

Басты минералдар мыс тотыққан кендегі: малахит (57,4 пайызға жуық Cu), азурит (55,5 пайыз Cu), хризоколла (36,1 пайыз Cu), брошантит (56,2 пайыз Cu), куприт (88,8 пайыз Cu). Мыс кендерінде Fe, Mo, W, Pb, Co, As минералдары жиі кездеседі.

Мыс кен орындары 9 геология-өндірістік түрге бөлінеді. Ішінде: мыс-никельді, темір-никельді габброидты, карбонатты, скарнды, мыс-порфирлі, сульфидті-кварцті, самородты мыс, құмды мыс, және сланцты болып келеді. Осы түрлер келесідей генетикалық топ құрамына кіреді: магматикалық; карбонатты; скарнды; гидротермальді; колчеданды; стратиформды. Әр түрлі кен түрлеріндегі

мыстың орташа мөлшері 0,3 пайыздан 5 пайыз шегінде ауытқиды. Мыс Ni, Co, Pb, Sn, W, Bi, Au кешенді кендерінде бар.

1 Кесте – Мыс кендерінің химиялық құрамы

Кен	Құрамы, %						
	Cu	Fe	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Zn	Pb
Порфирлі	0.9-15	1-3	1-2	50-80	5-15	-	-
Колчеданды	2-3	38-42	36-44	5-10	1-2	-	-
Полиметалды	1.5-5	15-30	20-32	12-30	2-3	5-8	3-7
Құмды мыс	1.9-7	1-2	0.2-0.5	67-75	12-18	-	-

XX ғасырдың соңы мен XXI ғасырдың басындағы мыстың басты өндіруші елдері болып Чили, АҚШ, Канада, Замбия, Конго (Браззавиль), Конго (Киншаса), Перу саналады.

Қазақстанда түсті металдар шикізатының ірі базасы қалыптасқан. Олардың ішінде жетекші орынды мырыш, қорғасын және мыс кендері алады. Бұл металдардың республикадағы қоры бойынша тиісінше әлемде бірінші, екінші және үшінші орын алады. Олар Қазақстан түсті металлургиясы базалық кәсіпорындарының шикізат көзі болып табылады.

Қазақстан әлемдегі ірі мыс өндіруші елдердің бірі. Республика аумағында мыс кентасының порфирлі, мысты құмтас, колчеданды, скарндық мысты-цеолитті, мысты-никельді, т.б. кен орындарының көптеген түрлері белгілі. Мыс кентасының ірі кен орындарына Жезқазған, Қоңырат, Ақтоғай, Айдарлы, Жаман-Айбат, Бозшакөл, Көксай, Қасқырмыс, т.б. жатады. Жезқазған кен орнын мысалға келтіретін болсақ. Кеннің негізгі өнеркәсіптік түрлері - мысты құмтас (71 пайыз) және мыс-порфир (24 пайыз). Жезқазған мыс құмды кенінің ең ірі кен орны болып табылады. Жезқазған кен орындары өзінің әлеуеті бойынша ТМД бірінші орын және әлемде екінші орын алады.

Қазақстан мыс өндіру бойынша әлемде жетінші орында тұр. Бүгінде «Қазақмыс» компаниясы жылына 400 мың тоннадай мыс өндіреді. Компания өндіретін осыншама көлемдегі мыстың тек бір проценті ғана Қазақстанның ішкі нарығына арналып, қалған 99 пайыз өнім шетелге жөнелтіледі. Әсіресе соның ішінде ең көбі Қытайға сатылады. Елімізде компанияның мысын Жезқазғандағы мыс жіптерін жасау зауыты алып, өңдеп, оны Павлодардағы трансформатор зауытына өткізеді. Бұдан басқа елімізде мыс алып оны кәдеге жарататындай ешқандай зауыт та, өндіріс орны да жоқ. Жуырда ғана Лондон биржасында бір тонна таза мыстың бағасы 6 930 АҚШ долларын құрады [1-4].

Мыс минералдары. Мыстың жалпы 200 жуық минералдары бар, соның ішінде өнеркәсіпте келесідей негізгі минералдары бар кендер өңделеді, атап шыққанда олар халькопирит, халькозин, ковеллин, малахит, азурит.

Халькопирит, мыс колчеданы – сульфидтер класына жататын минерал. Химиялық формуласы: CuFeS_2 , құрамы пайызбен: Cu – 34,64, Fe – 30,42, қоспалары: Ag, Au, Tl, тағы басқалар. Агрегаттары түйірлі, тұтас немесе сеппе түрінде болады. Түсі сары, металл тәрізді жылтыр, жымдастығы жетілмеген, электр тогын нашар өткізеді, 1000 °C балқиды.

Халькозин – сульфидтер класына жататын минерал. Химиялық формуласы: Cu_2S , мұндағы мыстың мөлшері 79,86 пайыз, қоспалары: Fe, Ag, Co, Ni, Au, As. Төменгі температурада ромбылық, жоғарғы температурада гексагондық сингонияларда кристалданып, призма, қалақ, дипирамида тәрізді кристалдар түзеді.

Ковеллин (немесе ковеллит) – минерал, мыс сульфиді. Мыс кен орындарында тән екінші минерал. Химиялық формуласы : CuS . Пайыздық құрамы: мыс - 66,46 пайыз; күкірт - 33,54 пайыз. Әдетте ковеллин көк түсті масса түрінде кездеседі, олардың бетінде жақсы сапалы кристалдар сирек кездеседі. Минерал өте жұмсақ. Жұқа пластинкалар икемді. Ашық көк түсті жұқа примазкалар, ұнтақталған және қара жер массалары.

Куприт – Cu_2O . Химиялық құрамы: Cu 88,8 пайыз, O_2 11,2 пайыз. Механикалық қоспа түрінде жеке мыс металымен бірге жиірек кездеседі, майда немесе жасырын кристалды түрлеріндегі қоспалары: Fe_2O_3 , SO_2 , H_2O [5-6].

1.3 Гидрометаллургиядағы процестер мен операциялардың негізгі түрлері

Өңделетін шикізаттың түріне, металдар мен олардың қосылыстарының қасиеттеріне, процестің мақсатына байланысты гидрометаллургиялық тәжірибеде негізгі процестер мен операциялар қолданылады:

1) Кен шикізатын шаймалауға дайындау. Дайындау операцияларына мыналар жатады: ұсақтау, ұнтақтау, агломерациялау, химиялық құрамын өзгертумен бастапқы материалдарды өңдеу.

2) Шаймалау – бір немесе бірнеше пайдалы компоненттердің оларды бос жыныстан айыру мақсатында кеннен, концентраттан немесе металлургиялық жартылай өнімнен сулы ерітіндіге таңдаулы бөліп алу процесі. Гидрометаллургиялық процестердің негізі [8-11].

3) Қатты және сұйық фазаларды бөлу (тұндыру, декантация, коюландыру және сүзу операциялары).

4) Ерітінділерді қоспалардан тазалау. Шаймалау процесінен кейінгі электрлік шөктіру процесінің қалыпты жүруі үшін, катодтық өнімнің сапасының жоғары болуы және электр қуатының аз шығындалуы тек өте таза электролит болған жағдайда ғана қол жеткізуге болады.

Ерітіндіні қоспалардан тазалау келесі бағыттар бойынша жүзеге асырылады:

а) *цементация* – бір металды басқа активтілігі неғұрлым белсенді (цементатор) металмен тұндыру [8, 10-12].

б) *экстракция* – органикалық еріткіштердің көмегімен заттың сулы ортадан органикалық ортаға селективті өтуі [8-11].

в) *сорбция* – қатты сорбенттің көмегімен қоспаларды бөліп алу. Сорбент – белгі затты сіңіру және оның беттігінде сақтай алу қабілеттігі бар қатты материал.

5) Ерітінділерден металдарды бөліп алу.

Электролиз – еріген немесе балқыған электролитке батырылған электродтарда электр тогы әсерінен жүретін химиялық реакция. Электролиз ерекшелігі - тотығу және тотықсыздану процестерді кеңістіктік бөлу: анодта электрохимиялық тотығу, ал катодта тотықсыздану реакциясы жүреді. Процесс арнайы электролизер аппараттарында жүргізіледі [7-11].

1.4 Шаймалау. Шаймалау түрлері

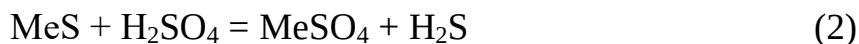
Шаймалау – кендерден, концентраттардан немесе металлургиялық қайта өңдеудің аралық өнімдерінен бір немесе бірнеше компоненттерді бос жыныстардан бөлу мақсатында су ерітіндісіне іріктеп алу процесі.

Еріткіштерді таңдау көптеген факторларға тәуелді, олардың негізгілері болып саналатындар:

- 1) бастапқы материалдың химиялық және физикалық табиғаты;
- 2) еріткіштің құны;
- 3) еріткіштің аппаратураға коррозиялық әсері;
- 4) шаймаланатын компонентке қатысты еріткіш әсерінің талғамдылығы;
- 5) еріткіштің регенерациялау мүмкіндігі (мысалы, ZnO шаймалау кезінде күкірт қышқылы электролиз процесінде регенерацияланады).

Ең көп тараған еріткіштердің түрлері: қышқылдар, тұздардың ерітінділері, сілтілер. Соның ішінде қышқылдарға тоқталайық [8-11].

Қышқылдар. Ең көп қолданатын H_2SO_4 . Ол көптеген жартылай өнімдер мен кендердің жақсы еріткіші болып табылады, төмен құндылығымен ерекшеленеді және аппаратураға салыстырмалы түрде әлсіз коррозиялық ықпал жасайды. Күкірт қышқылын әртүрлі өнімдерді шаймалауда пайдаланады:



Шаймалау түрлері. Мыс құрамды кендерді тікелей шаймалау (перколяция). Перколяция, жеңіл шаймаланатын ірі өлшемді кендердің күрделі қабатынан ерітіндінің сіңірілуімен тікелей шаймалау арқылы кендерден металдарды бөліп алу.

Чандағы материалмен ерітіндінің деңгейі төмендеуінің уақыт бірлігімен өлшенетін сіңіру жылдамдығы (см\сағ) көптеген факторларға байланысы. Соның ішінде ең маңыздысы:

- 1) материалдың кеуектілігі;
- 2) оның шаңдану дәрежесінен;
- 3) чанға тиеу биіктігі.

Материал түйіршіктерінің мөлшері үлкен болған сайын, ерітіндінің сіңіру жылдамдығы жоғары болады, сондықтан бұл жағдайда материалдың қабаты кеуекті болады. Материалдағы құмды фракцияның құрамы жоғарылау кезінде, сіңіру жылдамдығы төмендейді, құм ұстайтын ылғал саны өседі, ал материалдың ерітіндіге бөлініп шығу пайызы төмендейді. Сондай-ақ чанға тиеу тереңдігі сіңіру жылдамдығына әсер етеді. Чандағы құм қабатының биіктігінің жоғарылауымен сіңіру жылдамдығы төмендейді [8-9].

Араластыру арқылы шаймалау. Белгілі ірілікке дейінгі ұсақталған материалды (кен, концентрат, күйінді және т.б.) 40 пайыздық пен 70 пайыздық қатты зат құрайтын пульпа түріндегі еріткіш қосумен араластырады. Перколяциялық әдіспен салыстырғанда бұл әдістің эффективтілігі жоғары. Процестің эффективтілігі пайдалы қазбаларды бөліп алу және еру жылдамдығының жоғары болуымен байланысты.

Бірақ, араластыру арқылы шаймалау процесі келесі мәселелерге байланысты шығыны көбірек: материалды майдалау, қойыртпақты (пульпа) араластыру және сусыздандыру (сүзу) шығындары.

Жер асты және үйінділеп шаймалау. Шаймалаудың бұл түрлері перколяциялықтан айырмашылығы ол зауыт аппараттарын қажет етпейді және табиғи жағдайда жүргізіледі.

Көне кен орындарында немесе әзірлеуден қалған үлкен мөлшердегі кедей кендерін басқа әдіспен өндеуге және байытып алуға қолайлы болғандықтан жер асты шаймалау әдісін қолданады.

Арнайы шурфтер, скважина арқылы кен пластасынан жоғары жақтан шаймалайтын ерітіндіні жібереді. Бұл ерітінді қалың кеннен сіңіріліп өтіп арнайы канал бойынша төмен ағады немесе беттікке ығыстырылып шығарылады. Бұл кезде ерітінді металмен байытылады. Процестің ерекше сипаттамасы болып оның өте жай ағылуы және металл бойынша кедей ерітінділерді алу болып табылады, жер асты шаймалауға кететін шығындар аз, сондықтан да оны бірқатар кен орындар қолайлы пайдаланады.

Үйінділеп шаймалау, жер асты шаймалаудан қарағанда бастапқы кенді алдын ала дайындауды қажет етеді. Кедей кенді (Cu 0,3 пайыздан 2 пайызға дейін) 10-30 мм дейін ұсақтап оны үйінділеп кесілген пирамида түрінде алаңға жинайды.

Алаңдағы жерде ерітінді сіңіп кетпес үшін оны гудрон немесе асфальтпен қаптайды. Процесс қышқылды ерітіндімен немесе цементациядан кейінгі алынған қайтымды ерітіндіден үйінділерді кезеңдеп суару (орошение) арқылы жүргізіледі. Ерітінді жоғары жақтан жіберіледі, ол канал немесе шашыратқыш көмегімен таратылады. Шаймалау процесінің химизмі жер асты шаймалау процесіндегідей.

Ағынды ерітінді, тұндырғышқа (отстойник) жиналады, онда оның жарты бөлігі суаруға (орошение), ал жартысы байытылған цементтеуге жіберіледі.

Бактериялық шаймалау. Сульфидты кенді байыту кезінде тау суларында және жерлерінде жүретін бактериялар күкірт және темірді тотықтыратындығы белгілі. Бұл бактериялар темір сульфидін тотықтыра, әлсіз қышқыл ерітінді түзе жүреді және бұл ерітіндіде түсті металдардың оксидтері мен сульфидтері ериді. Кәзіргі уақытта бактерия арқылы шаймалау мысты, уранды және алтын құрайтын кендерді үйінділеп және жер асты шаймалау кезінде пайдаланады.

pH 2,5-2,8 сәйкес келетін қышқыл ортада және 30-35 °C температура кезінде бактерияның максималды белсенділігі байқалады. Барлық микроорганизмдер үшін, бактерияның қалыпты өмір сүруі үшін оттегі қажет.

Автоклавты шаймалау. Газды фазаның жоғарғы қысымында және жоғарғы температура кезінде жүретін шаймалау процесі. Автоклавты шаймалаудың екі түрі бар: оттегі және оттегісіз.

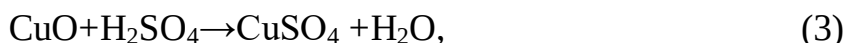
Процестің артықшылығы: өндеуге қиын келетін металлургиялық шикізаттарды өндеу мүмкіншілігі, ерітіндіге металдың бөліну дәрежесінің жоғарлауы, процестің жылдамдығының жоғарлығы.

Кемшіліктері: қымбат құрал-жабдықтарды пайдаланумен байланысты процестің құндылығының жоғарлауы [8-11].

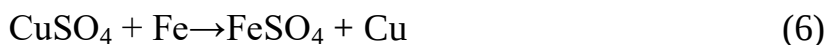
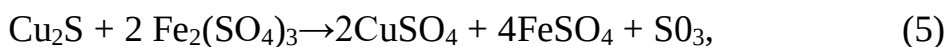
1.5 Мыс кенін шаймалау

Мысты гидрометаллургиялық тәсілмен алу кезінде кедей кендер шаймалауға түседі. Шаймалаудан алдын мыс кенін ұсақтап, ұнтақтап алады. Шаймалау процесі H_2SO_4 , NH_4OH және т.б. басқа ерітінділермен жүреді.

Тотыққан мыс кендері оңай ериді:



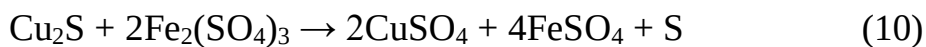
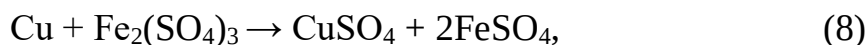
Мыстың күкіртті қосылыстары күкірт қышқылды темірмен шайылады:



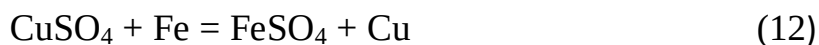
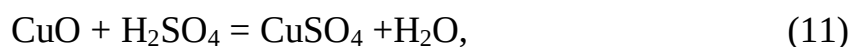
Мыс кенін шаймалау үшін қолданылатын ерітінділер бейтарап, қышқылды және сілтілі болып келеді [12-14].

Бейтарап еріткіштер. Мұнда: су және $Fe_2(SO_4)_3$, $FeCl_2$, Fe_2Cl_5 , $CuCl_2$ және KCN тұздарының су ерітінділері жатады. Су еріткіш ретінде тек ерекше жағдайларда ғана қолданылады, себебі мыс суда еритін қосылыстар түрінде кенде өте сирек болады. Нейтралды еріткіштерден көптаралған - $Fe_2(SO_4)_3$.

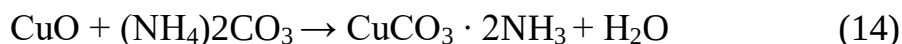
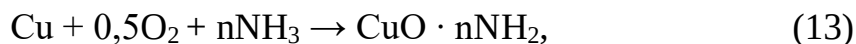




Қышқылды еріткіштер. Шаймалау кезінде H_2SO_4 ең көп қолданылады. Шаймалаудың қолайлы жағдайларында қышқыл салыстырмалы түрде Fe_2O_3 -ке әлсіз әсер етеді, соның салдарынан сілтісіздендіруден алынатын ерітінділерде темір тұздарының едәуір мөлшері болмайды. Бұдан басқа, осы ерітінділерден мыс электролиттік бөлінгенде күкірт қышқылы регенерацияланады және қайтадан сілтілеуге түседі, соның арқасында оның шығыны шамалы.



Сілтілі еріткіштер. Оларға тек аммиак және көмірқышқыл аммоний ерітінділері жатады. Олармен жұмыс істеу қышқыл ерітіндісімен салыстырғанда ыңғайлы. Бұл еріткіштермен құрамында өзіндік мыс, тотыққан және күкіртті қосылыстары бар кендер шайылады [12-17].



Ресейде мысты үймелеп шаймалау жүргізудің негізгі ерекшеліктер. Ресейде тотыққан мыс кендерінің үлкен қорлары жаңа кен орындарында, сондай-ақ жұмыс істеп тұрған өндірістердің үйінділерінде шоғырланғанына сүйене отырып, жақын арада елімізде мыстың үймелеп шаймалаудың технологиясының қарқынды дамуын күту керек. Қазір осы технологияны енгізудің әртүрлі сатыларында бірнеше металлургиялық кәсіпорындар бар.

Жұмыс істеп тұрған кәсіпорындардың көпшілігі мысты үймелеп шаймалау климаты жылы және құрғақ аймақтарда болғандықтан, біздің елде осы процесті іске асыру климаттық ерекшеліктерге байланысты арнайы техникалық шешімдерді әзірлеуді талап етеді: Ресейде мысты үймелеп шаймалау негізгі ерекшелігі теріс температура жағдайында процесті жүргізу болып табылады. Суық климатта мыстың үйінді шаймалау арқылы іске асыру кезінде арнайы іс-шараларды қарастыру ұсынылады:

- суару жүйесін тереңдету;
- шаймалау ерітінділерін жылыту;
- магистральды құбырлар мен өнімді құбырларды жылу оқшаулау.

Көптеген аумақтарда атмосфералық жауын-шашын мен судың булану шамасы арасындағы оң су теңгерімінің болуы тағы бір маңызды ерекшелігі болып табылады. Климаты құрғақшылық болған елдерде өңделген кен үйінді шаймалаудан кейін оның табиғи кебуі орын алатын және қоршаған ортаға қышқыл ағындардың түсуін болдырмайтын үйіндіге шығарылады. Бұдан басқа үйінді шаймалау процесінде атмосфералық жауын-шашынның түсуі есебінен айналым ерітінділерінің артық болуы мүмкін, ол сондай-ақ қалдық сақтауда қоймалардың алдында бейтараптандыруға ұшырауы тиіс. Тотыққан кендерден мыс алудың тиімділігіне әсер етуі мүмкін көптеген факторларды ескере отырып, үймелеп шаймалау технологиясын іске асырар алдында кеннің технологиялық қасиеттеріне егжей-тегжейлі зерттеулер жүргізу қажет.

Аралас кендерден мысты үймелеп шаймалау технологиясы. Бұл тәсілмен әлемдік мыс өндірісінің шамамен 20 пайыз өндіріледі. Мысты үймелеп шаймалау әдісі Чили, АҚШ, Австралия және Перу елдерінде ең кең таралған.

Тотыққан кендерден алынған мыстың үймелеп шаймалау технологиясы келесі кезеңдерден тұрады: кенді ұсақтау, гидроизолирленген негізге салу, шаймалау, өнімді ерітіндіден мысты экстракциялау, мыс реэкстрактіден мыс электролизі және қалдықтарды кәдеге жарату [18].

Аралас және қиынбайытылатын мыс кендерін өңдеу тәсілі. Өнертабыс мыс металлургиясына, атап айтқанда аралас (сульфидті-тотыққан) мыс кендерін, сондай-ақ құрамында тотыққан және сульфидті мыстың минералдары бар өнеркәсіп өнімдерін, қалдықтар мен қождарды қайта өңдеу тәсілдеріне жатады, сондай-ақ басқа түсті металдардың минералдық өнімдерін қайта өңдеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Аралас кендерді өңдеу үшін кеннен металды алудың әдістерімен, шаймалау ерітінділерінен металды алу әдістерімен, алу әдістерінің жүйелілігімен, қатты және сұйық фазаларды бөлу әдістерімен, фазалар ағынын ұйымдастырумен және операцияларды жинақтау ережелерімен ерекшеленетін технологиялық схемалар әзірленді және қолданылды.

Тәсілдің кемшіліктері сілтілі ортада флотация жүргізу үшін реагент-реттегіштердің үлкен шығыны болып табылады, ірі бөлшектерді сілтілендіргеннен кейін түсетін оксидті мыс минералдарынан флотация кезінде мысты алудың, флотация үшін жинағыштардың үлкен шығыны болып табылады.

Осы өнертабыста кеннен тауар өнімдеріне мыс алуды арттыру, флотацияға реагенттер шығынын азайту, флотация жылдамдығын арттыру, ұсақтауға шығындарды төмендету болып табылатын техникалық нәтижеге қол жеткізілді [19].

Acidithiobacillus thiooxidans пайдалана отырып, поляк мыс металлургиялық шлактардан металдардың сыни мәндерін бактериялық шаймалау зерттеуі жүргізілген болатын [Journal of Environmental Management Volume 236, 15 April 2019, Pages 436-445]. Әлемдік экономика сыни шикізатты жеткізу тәуекелінің өсіп келе жатқан проблемасына тап болып отыр, сондықтан қайталама ресурстарды іздеу өзекті проблемаға айналды. Польшадағы мыс кен

орындары қайта өңдеу процесіне жарамсыз металдардың едәуір мөлшерін қамтиды. Қызығушылық тудыратын металдар қалдықтар ретінде емес, қайталама ресурс ретінде жіктелетін металлургиялық қалдықтарында шоғырланған. Бактериялды шаймалау – бұл қоршаған ортаны шлактардан тазарту үшін перспективалы озық технологиялар. Сондықтан осы жұмыстың мақсаты шаймалау агенті ретінде *Acidithiobacillus thiooxidans* бактерияларын пайдалана отырып, мыс металлургиялық өндіріс қалдықтарынан металдарды (Cu, Co, Mo, Re) биохимиялық шаймалау мүмкіндігін зерттеу болды. Бөлшектер мөлшерінің (фракцияның <0,25 мм және 0,25-0,5 мм) және қойыртпақтың тығыздығының әсері қождың үш түрлі үлгілерін пайдалана отырып зерттелді. БШ бойынша эксперимент 28 күн ішінде қышқыл жағдайда (pH 2,5) жүргізілді. Нәтижелер микроорганизмдер абиотикалық жағдайларда қол жеткізілетін шаймалаумен салыстырғанда шлактан металл алуды катализдей алатынын көрсетті. Бактериялды шаймалаудың оңтайлы шығуына бөлшектердің мөлшері 0,25-0,5 мм және қойыртпақтың тығыздығы 1 пайыз жағдайында қождың қолданылатын түріне қарамастан қол жеткізілді. Алайда бастапқы тиімділікті одан әрі арттыру үшін, процестің ұзақтығы қажет.

Күкірт қышқылының сұйылтылған ерітіндісінде мысты селективті шаймалау үшін гипохлорит ерітіндісінде халькопиритті мыс оксидіне айналдыру зерттеулері жүргізілді [Hydrometallurgy Volume 178, June 2018, Pages 224-230]. Осы әдісте халькопиритті мысты шаймалау үшін теноритке тотықтырудың жаңа әдісін әзірлеу сипатталады. Бастапқыда халькопирит тотықтырғыш ретінде электрогенерленген хлорды пайдалана отырып, сілтілі аймақта теноритке / мыс оксидіне (CuO) айналды. Шаймалау жылдамдығы, температура және реакция уақыты сияқты процестің түрлі параметрлері зерттелді. Қышқылдың ыдырау жылдамдығы 0,69 ммоль 1 мин кезінде 10 г/л қойыртпақтың тығыздығын сақтай отырып, 93,8 пайыздық теноритке 300 мин 60 °C кезінде және pH 11-12 арасында ерітіндінің тығыздығы сақталған кезде айналатыны анықталды. Сонымен, мысты шаймалаудың жоғары тиімділігі 99,3 пайызға дейін pH 2,7-3,2 диапазонында 60 °C кезінде 30 мин ішінде қол жеткізілді.

2 Эксперименттік бөлім

Бұл эксперименттік жұмыста еліміздің Қоңырат кенорнындағы кәсіпорынынан алынған мытың кедей кені қолданылды, мыстың пайыздық үлесі 0,56 пайыз құрайды.

Осы кедей шикізаттан мысты гидрометаллургиялық әдіспен алуға тырыстық. Алғашқыда мыс шикізатын пеште күйдіріп, ары қарай мысты шаймалау үшін күкірт қышқылын қолдандық.

Сондай-ақ, осындай шикізаттан сәйкесінше басқа да тиімді қышқылдарды қолдану арқылы мысты көп мөлшерде алуға болады.

2.1 Зерттеу жұмыстарына қолданылған реагенттер мен қондырғылар

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

Бастапқы реагенттер:

- Қоңырат аралас мыс кендерінің сынамалары;
- H_2SO_4 күкірт қышқылы - 10 -50 г/л;
- натрий тиосульфаты - $Na_2S_2O_3$;
- 1 пайыз -дық калий йодиді кристалдары, KI;
- 1 пайыз -дық крахмал ерітінісі;
- дистилденген су.

қондырғылар: муфельді пеш, SNOL 6,7\350; муфельді пеш, SNOL 7.2\1100; Вакуумдық насос; Бюхнер воронкасы; рН-метр, И-160; таразы, SHIMADZU AX200; таразы, KERN and Sohn GmbH.

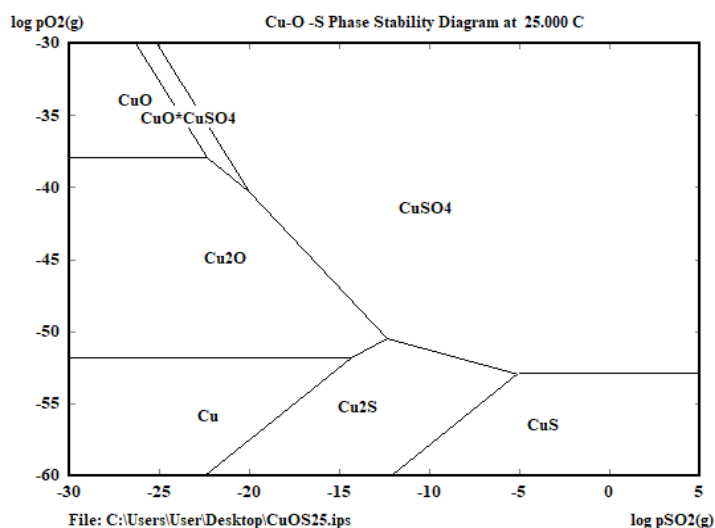
2.2 Мысты ерітіндіде анықтау әдістемесі

Мыстың баланстан шығарылған кен қалдығынан шаймалану дәрежесіне қышқыл концентрациясының, температураның, сұйық және қатты фазалары қатынастарының, шаймалау ұзақтығының әсер етуі қарастырылды. Мыс титрлеу әдісімен анықталды. Мысты анықтау әдістемесі: сынамадан 5 мл аликвота алынып, көлемі 100 мл конусты колбаға құйылады, ол 50 мл дистелденген сумен араластырылады. Оған 1 г калий йодидінің (KI) кристалдары салынады, ерітінді ақшыл сары түске боялады. Осы ерітінді 0,1 N $Na_2S_2O_8$ ерітіндісімен ақшыл-сары түске айналғанша титрленеді. Ақшыл-сары түске боялған ерітіндіде мыстың бары-жоғын тексеру үшін колбаға 1 - 2 тамшы крахмал ерітіндісі тамызылады. Егер ерітінді көк түске боялса, оны тағы да ағарғанша $Na_2S_2O_8$ ерітіндісімен титрлеу қажет. Соңында жалпы титрлеуге кеткен $Na_2S_2O_8$ ерітіндісінің көлемі жазып алынады.

2.3 Мыс минералдарын күйдіруге дейінгі термодинамикалық талдау нәтижелері

Зерттеуге алынған кен үлгілерінің құрамы күрделі копкомпонентті болғандықтан, біз алдымен күйдіру кезінде мыстың негізгі минералдарының беталысын білу үшін HSC 5.0 программасымен талдау жүргізілді.

Үлгіні ауада күйдірген кезде оның құрамындағы мыстың сульфидті минералдары тотығып, әр түрлі қосылыстары түзуі мүмкін.



2 Сурет – Cu-S-O жүйесінің парциалды қысым диаграммасы

"Cu-S-O" жүйесінде газ фазасы құрамының кең аймағында мыс сульфидтері тұрақты болып табылады. Олардың түзілуі темір сульфидтерінің түзілуіне қарағанда анағұрлым ықтимал. Cu_2S , CuS сульфидтерінің пайда болуы PO_2 оттегінің төмен парциалды қысымдарында ғана мүмкін. p_{SO_2} артқан сайын Cu_2S жоғарылауымен CuS ауысады.

2 Кесте – CuFeS_2 ауада жанған кездегі термодинамикалық көрсеткіштері

T, C	ΔH , кДж	ΔS , кДж	ΔG , кДж	K	lg (K)
550	-206,26	46,26	-246,65	$5,71 \cdot 10^{14}$	14,757
650	-224,11	26,83	-250,22	$2,70 \cdot 10^{13}$	13,432
750	-236,17	15,03	-252,30	$1,91 \cdot 10^{12}$	12,282
900	-247,83	4,64	-253,28	$1,89 \cdot 10^{11}$	11,278
1000	-258,89	-4,40	-253,28	$2,46 \cdot 10^{10}$	10,393

550-1000 °C аралығында Гиббс энергиясы -246 мен -253 кДж дейін төмендеген жағдайда реакцияның жүруі мүмкін.

3 Кесте – FeS ауада жанған кездегі термодинамикалық көрсеткіштері

T, C	ΔH , кДж	ΔS , кДж	ΔG , кДж	K	lg (K)
550	-2440,53	-559,21	-1924,29	$7,79 \cdot 10^8$	108,892
650	-2434,54	-552,96	-1868,77	$2,59 \cdot 10^{15}$	95,414
750	-2432,59	-551,13	-1813,58	$2,24 \cdot 10^{17}$	84,352
900	-2431,69	-550,36	-1758,52	$1,27 \cdot 10^{25}$	75,104
1000	-2431,68	-550,35	-1731,00	$1,06 \cdot 10^{21}$	71,025

550-1000 °C арасында, яғни температура артқан сайын Гиббс энергиясының төмендеуін көреміз. Ол өз кезегінде реакцияның өздігінен жүретіні байқалады.

4 Кесте – Cu₂S ауада жанған кездегі термодинамикалық көрсеткіштері

T, C	ΔH , кДж	ΔS , кДж	ΔG , кДж	K	lg (K)
550	-536,76	-217,41	-336,06	$1,04 \cdot 10^{19}$	19,017
650	-535,73	-216,35	-314,37	$1,12 \cdot 10^{16}$	16,051
750	-534,55	-215,25	-292,79	$4,15 \cdot 10^{13}$	13,618
900	-533,21	-214,11	-271,32	$3,87 \cdot 10^{11}$	11,588
1000	-532,49	-213,53	-260,63	$4,94 \cdot 10^{10}$	10,694

550-1000 °C арасында Гиббс энергиясының көрсеткіші реакцияның жүруіне алып келеді.

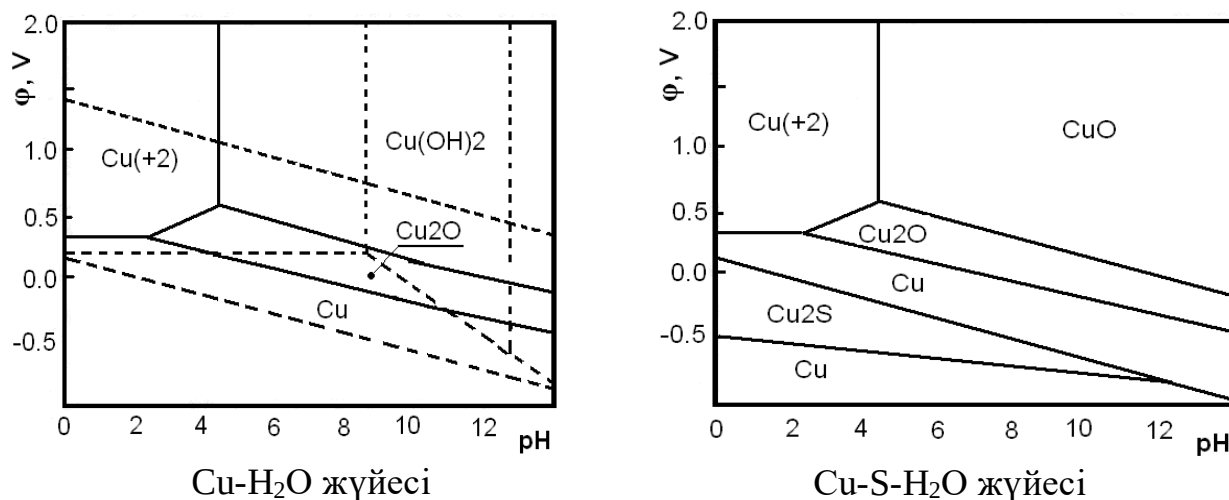
Кесте – CuS ауада жанған кездегі термодинамикалық көрсеткіштері

T, C	ΔH , кДж	ΔS , кДж	ΔG , кДж	K	lg (K)
550	-248,15	-4,23	-244,24	$6,62 \cdot 10^{13}$	13,821
650	-249,56	-5,69	-243,75	$2,78 \cdot 10^{12}$	12,445
750	-251,06	-7,09	-243,11	$2,02 \cdot 10^{11}$	11,307
900	-252,65	-8,43	-242,33	$2,23 \cdot 10^{10}$	10,350
1000	-253,46	-9,09	-241,89	$8,41 \cdot 10^9$	9,925

550-1000 °C аралығында Гиббс энергиясы -244 пен -241 кДж арасында реакцияның қалыпты жүруіне алып келеді.

2.4 Күйдірілмеген және күйдірілген кен үлгілерін шаймалау нәтижелері

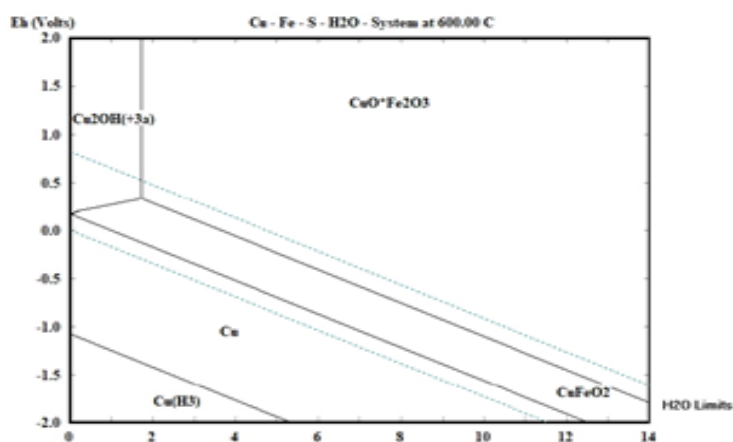
Алдымен күйдірілмеген күйінде шаймалауды жүргізу алдында мыс қосылыстарының күкірт қышқылды ерітінділердегі беталысын болжау үшін HSC 5.0 бағдарламасымен термодинамикалық талдау жүргізілді. «Cu -H₂O», «Cu-S-H₂O» и «Cu-Fe-S-H₂O» жүйелері үшін келесідей Пурбэ диаграммалары тұрғызылды.



3 Сурет - Cu-H₂O жүйесі және Cu-S-H₂O жүйесінің Пурбэ диаграммасы

3-суретте Cu-H₂O жүйесінің Пурбэ диаграммасы келтірілген. Бұл диаграммада Cu pH 0-14 арасында, ал потенциалы миунс 1 мен 0,35 арасында сілтілі ортада орналасқан. Мыс оксиді (Cu₂O) pH 3-14 арасында, потенциалы минус 0,45 пен 0,52 арасында көрсетілген. Ал мыс гидроксиді (Cu(OH)₂) pH 5-14 аралығында, потенциалы -0,1 мен 2,0 аралығынд бар екеніні байқалады.

4-суретте Cu-S-H₂O жүйесінің Пурбэ диаграммасы тұрғызылған. Бұл жүйеде pH 0-12 арасында, потенциалы минус 0,7 минус 0,1 аралығында Cu₂S түзілген. Ал Cu 2 жерде кездеседі, pH 0-14 арасында, потенциалы 0,3 пен 0,1 арасында және минус 0,5 пен минус 1 арасында.



5 Сурет – Cu-Fe-S-H₂O жүйесінің pH-φ диаграммасы

5-суретте Cu-Fe-S-H₂O жүйесінде рН 0 - 13 және потенциалы -1 мен 0,3 аралығында таза Cu түзілді. Ал рН 13-14 және потенциалы -2,0 мен 0,5 арасында CuFeO₂ қосылысы түзілгенін байқауға болады.

2.5 Шаймалау нәтижелері

Процестің температураға әсері, оның ұзақтығы, шаймалаушы ерітіндінің қышқылдығы, кен ірілігі, Қ:С мыс ерітіндіге шығару деңгейіне қатынасы зерттелді. Зерттеу объектісі Қоңырат кен орынының аралас және тотыққан мыс кендері табылды. Шаймалау бір сатылы массасы 20 г. кенмен, Қ:С қатынасы 1:2, кен ірілігі - 1 мм.

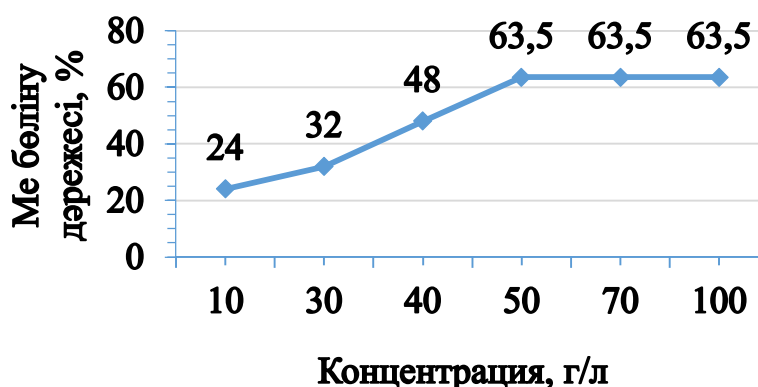
2.5.1 Мысты бөліну дәрежесінің қышқыл концентрациясына әсері

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

6 Кесте – Мысты бөліп алу дәрежесінің концентрацияға әсері

C _{H2SO4} г/л	Ұсақ фракция					Ірі фракция				
	V _{ш.е.} , дм ³	V Na ₂ S ₂ O ₃	a(Cu), г	K _{Cu} , г/дм ³	E _{Cu} , %	V _{ш.е.} , дм ³	V Na ₂ S ₂ O ₃	a(Cu), г	K _{Cu} , г/дм ³ *	E _{Cu} , %
10	37	0,057	0,0176	0,73	24	36	0,042	0,019	0,53	17
30	37	0,076	0,0358	0,97	32	35	0,058	0,025	0,74	23
40	36	0,088	0,0519	1,41	48	35	0,071	0,031	1,01	31
50	35	0,160	0,0711	2,03	63,5	35	0,096	0,042	1,22	38
70	35	0,160	0,0711	2,03	63,5	34	0,117	0,050	1,48	45
100	35	0,160	0,0711	2,03	63,5	33	0,128	0,053	1,63	48

V_{ш.е.} – өнім ерітіндісі, мл;
V_{Na₂S₂O₃} – натрий тиосульфаты, мл;
a(Cu) – шаймаланған мыс салмағы, г;
K_{Cu} – өнімді ерітіндідегі мыс мөлшері, г/дм³.



6 Сурет – Мысты бөліп алу дәрежесінің концентрацияға әсері диаграммасы

Шаймалау нәтижелері көрсеткендей қышқыл концентрациясы 50 г/дм^3 кезінде мысты бөліп алу дәрежесі 63,5 пайызға жеткенін көруге болады. Ары қарай зерттеу жүргізу үшін концентрациясы 50 г/дм^3 болатын күкірт қышқылын қолданамыз. Шаймалау қышқыл концентрациясы 50 г/дм^3 кезінде жүргізілді, Қ:С - 1:2, кен ірілігі – 1 мм. Шаймалау ұзақтығы 12 сағатқа дейін жүргізілді.

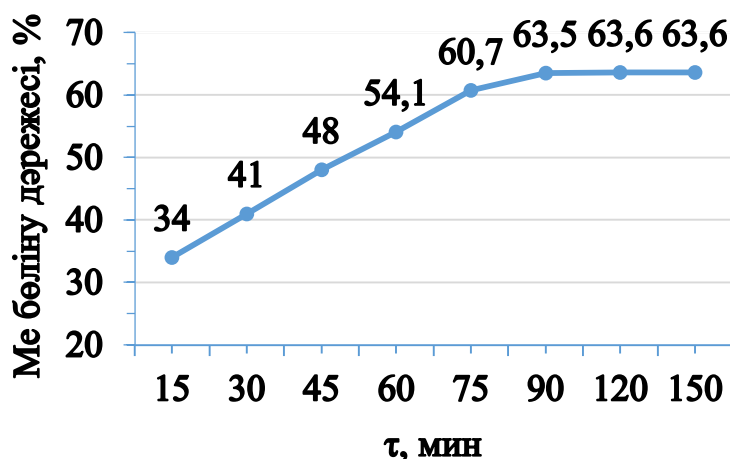
2.5.2 Күкірт қышқылымен мысты бөліп алу дәрежесінің уақытқа әсері

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

7 Кесте – Мысты бөліп алу дәрежесінің уақытқа әсері

τ , мин	$V_{\text{ш.е.}}$, дм^3	$a(\text{Cu})$, г	K_{Cu} , г/дм^3	E_{Cu} , %
15	37	0,398	0,97	34
30	37	0,480	1,18	41
45	36	0,559	1,48	48
60	36	0,618	1,74	54,1
75	35	0,657	1,91	60,7
90	35	0,711	2,03	63,5
120	34	0,711	2,04	63,6
150	34	0,712	2,04	63,6

$V_{\text{ш.е.}}$ – өнім ерітіндісі, мл;
 $a(\text{Cu})$ – шаймаланған мыс салмағы, г;
 K_{Cu} – өнімді ерітіндідегі мыс мөлшері, г/дм^3 .



7 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 пайыз болса, ал 1,5 сағат ішінде 63,5 пайызға ұлғайды (2 сурет, 8 кесте).

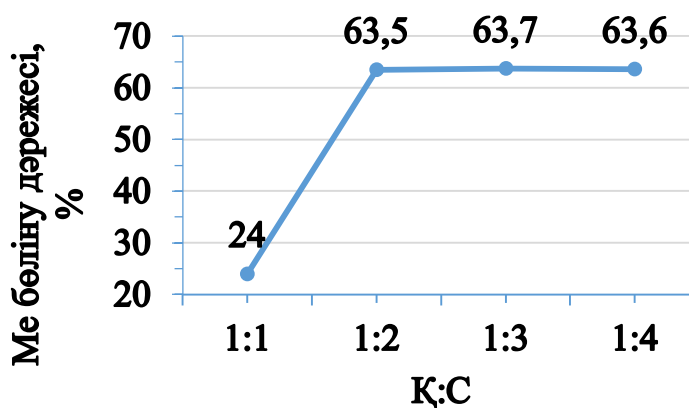
2.5.3 Мысты бөліп алу дәрежесінің қатты мен сұйық қатынасына әсері

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

8 Кесте – Мысты бөліп алу дәрежесінің Қ:С әсері

Қ:С	$V_{\text{ш.с.}}, \text{дм}^3$	$V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$	$a(\text{Cu}), \text{г}$	$C_{\text{Cu}}, \text{г/дм}^3$	$E_{\text{Cu}}, \%$
1:1	37	0,057	0,0269	0,73	24,0
1:2	35	0,160	0,0711	2,03	63,5
1:3	35	0,160	0,0711	2,03	63,7
1:4	35	0,160	0,0711	2,03	63,6

$V_{\text{ш.с.}}$ – өнім ерітіндісі, мл;
 $V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$ – натрий тиосульфаты, мл
 $a(\text{Cu})$ – шаймаланған мыс салмағы, г;
 C_{Cu} – өнімді ерітіндідегі мыс мөлшері, г/дм^3 .



8 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).

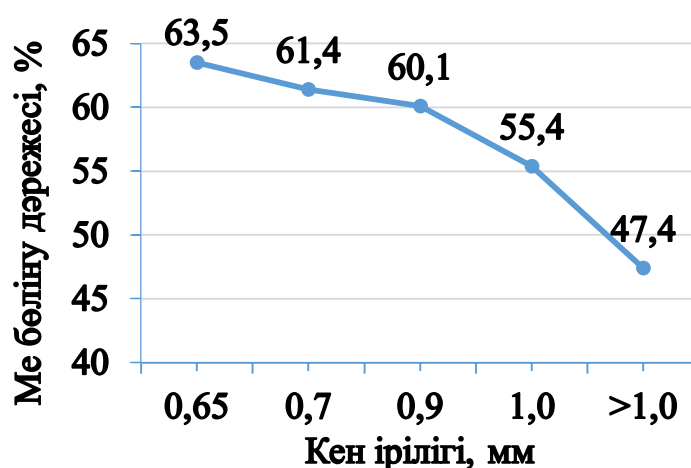
2.5.4 Кен ірілігінің мысты бөліп алу дәрежесіне әсері

Мыс кенін бөліп алу үшін 0,65, 0,7, 0,9, 1,0 $>1,0$ мм болатындай кен ірілігіне тәуелдігін анықтадық. Тәжірибе қышқыл концентрациясы 50 г/дм^3 , Қ:С 1:2, процесс ұзақтығы 1,5 сағат, сынама салмағы – 20 г.

9 Кесте – Кен ірілігінің мысты бөліп алу дәрежесінің әсері

Ірілігі, мм	V _{ш.е.} , дм ³	a(Cu), г	K _{Cu} , г/дм ³	E _{Cu} , %
0,65	35	0,0711	2,03	63,5
0,7	34	0,0741	2,01	61,4
0,9	34	0,0678	1,97	60,1
1,0	33	0,0650	1,78	55,4
>1,0	31	0,0587	1,54	47,4

V_{ш.е.} – өнім ерітіндісі, мл;
a(Cu) – шаймаланған мыс салмағы, г;
K_{Cu} – өнімді ерітіндідегі мыс мөлшері, г/дм³.



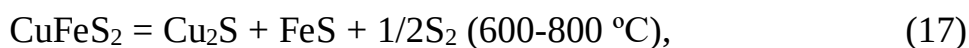
9 Сурет – Кен ірілігінің мысты бөліп алу дәрежесінің әсері диаграммасы

Нәтижелер кен ірілігінің мөлшері азайған сайын, шаймалау дәрежесі артатынын көрсетті. 4 суретте кен ірілігі 0,65 мм болған жағдайда 63,5 пайыз жеткенін көре аламыз.

Қорыта келе, нәтижелерге сүйене отырып, қышқыл концентрациясы 50 г/дм³, Қ:С 1:2, кен ірілігі – 0,65 мм, шаймалау ұзақтығы – 1,5 сағат осы параметрлерден тұратын тәжірибені жүргізіп 63,5 пайыз мысты бөліп алу дәрежесіне қол жеткіздік.

2.6 Күйдірілген үлгілерді шаймалау нәтижелері

Алдымен Қоңырат кен орнындағы мысты кедей шикізатты 20 г болатындай тигельге өлшеп алып, 600 °С қызып тұрған муфельдік пешке 1 сағат бойына күйдірдік. Алдымен шикізат түсі сарғыштау болатын, күйіп шыққан шикізат енді қызғылт түске келді. Бұл шикізаттың айтарлықтай тотыққанын көрсетеді десек болады.





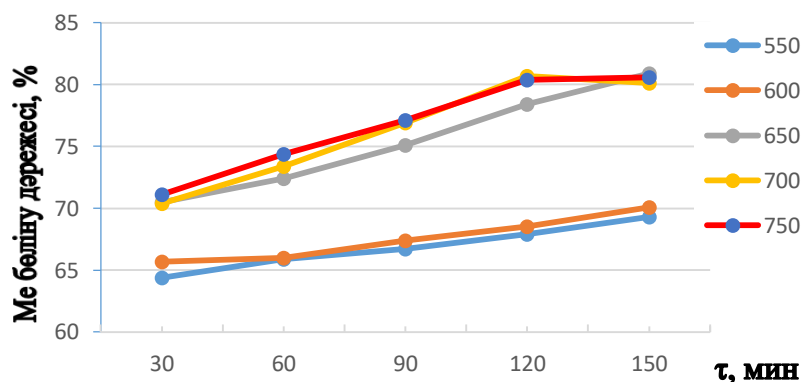
Температура 500-750 °С көтерілу барысындағы, шаймалау уақытының ұзақтығын есептей отырып мысты бөліп алу дәрежесінің артқанын байқауға болады.

Мыс кенін шаймалау дәрежесіне температураның (550-750 арасында) әсері, Қ;С 1:2, қышқыл концентрациясы 50 г/дм³, кен ірілігі - 0,65 мм болатындай тәжірибе жүргізілді.

10 Кесте – Күйдірілген үлгілерді шаймалау нәтижелері

T, °C	V _{ш.е.} , дм ³	a(Cu), г	K _{Cu} , г/дм ³	E _{Cu} , %
550	35	0,0711	2,03	69.3
600	35	0,0745	2,17	70.1
650	34	0,0840	2,31	80,9
700	34	0,0974	2,4	80,1
750	33	0,0997	2,4	80,8

V_{ш.е.} – өнім ерітіндісі, мл;
a(Cu) –шаймаланған мыс салмағы, г;
K_{Cu} - өнімді ерітіндідегі мыс мөлшері, г/дм³.



10 Сурет – күйдірілген үлгілерді шаймалау нәтижелері диаграммасы

Нәтижелер көрсеткендей, мыстың бөліну дәрежесі күйдірілген мыс кендерінен мыстың шаймалау дәрежесі айтарлықтай жоғарылайды: біз жоғарғы дәрежедегі мыс концентрациясын алуымызға болады. 550-750 °С аралығында күйдірірілген кендердің шаймалану дәрежесі 63,5 пайыздан 80,8 пайызға артты. Бұл күйдірілмеген кеннен мытың шаймалану дәрежесінен 7пайыздан 18пайызға артты.

Бастапқы кен құрамында мыстың мөлшері өте аз болғандықтан, өңдеуге түсетін кеннің жалпы көлемі орасан көп болады, оның үстіне күйдіру процесін жүргізетін болсақ өзіндік құны қымбатқа түседі. Сондықтан біз ары қарай бастапқы кенді шаймалау процесін қарсы ағынды көп сатылы сұлбамен жүргізуді ұсынамыз.

3 Экономикалық бөлім

Зерттеу жұмысы барсында 127 тәжірибе жүргізілді. Экологиялық және экономикалық жағынан тиімді болып табылатын (түсті металдарды) – гидрометаллургиялық процестер екені айтпасада түсінікті. Мыс кендерін жоғары дәрежеде бөліп алу үшін алдымен байыту процестерінен кейін шаймалайды. Дегенмен, шаймалаудың да өзіндік талаптары, тәртіптері бар.

Мыс металын жоғары дәрежеде бөліп алуға, шығын аз шығатын және уақытты да аз кетіретін зерттеу жүргізуге болады.

3.1 Негізгі және қосалқы материалдар шығынын есептеу

Тәжірибе жүргізуге арналған негізгі және қосымша материалдар шығынының есептеу нәтижелері төмендегі кестеде келтірілген.

11 Кесте – Негізгі және қосалқы материалдар шығыны

Материалдар атауы	Материал шығыны	Бірлік бағасы, тг	Жалпы бағасы, тг
Муфель пеші	1	1200000	1200000
Кептіру пеші	1	350000	350000
Араластыру аппараты	1	150000	150000
Мыс кені, кг	1	1000	1000
Күкірт қышқылы, л	1	850	750
Дистилденген су, л	100	25	2500
Калий иодиді	0,5	500	250
Натрий тиосульфаты	2	800	1600
Крахмал	1.0	400	400
Фильтр қағазы, бума	1,0	700	700
Индикатор қағазы, бума	1,0	450	450
Барлығы			1707650

Негізгі және қосалқы материалдардың шығыны 127 тәжірибеге есептелген. Сонда, 1 айға кететін негізгі және қосалқы материалдар шығыны 1707650 теңгені құрайды.

3.2 Ғылыми-зерттеу жұмысының жинақ қорын есептеу

Жинақ қоры (А) келесі теңдеумен есептелінеді:

$$A = C_{\pi} \cdot I_0 \cdot 0,33, \quad (22)$$

мұндағы: C_{π} – жабдықтың бастапқы бағасы, 0,33-ке көбейтілген.
 I_0 – 1,082 тең, индексация.

Сонымен, 3 айға құраған жинақ қорының соммасы:

$$A = 1707650 \cdot 1,082 \cdot 0,33 = 609\,733,59 \text{ тг} \quad (23)$$

Сонда бір жылдық жинақ қорының (A_1) сомасы мына теңдеумен анықталады:

$$A_1 = C_{\Pi} \cdot I_0 \cdot 0,33 \cdot (1 + e)^1, \quad (24)$$

мұндағы e – тиімділік коэффициенті, ол 0,1 тең:

$$A_1 = 1707650 \cdot 1,082 \cdot 0,33 \cdot (1 + 0,1)^1 = 670\,706,86 \text{ тг} \quad (25)$$

Жобаның құны (B) келесі теңдеумен есептелінеді:

$$B = A_1 + A \quad (26)$$

Сонымен, жобаның құны:

$$B = 609\,733,59 + 670\,706,86 = 1280\,440,45 \text{ тг} \quad (27)$$

4 Қауіпсіздік және еңбек қорғау бөлімі

4.1 Қауіпсіздік шаралары

Қауіпсіздік техникасы мен санитарлық қажетті шаралар зертхана меңгерушісі міндеті бойынша жүзеге асырылады. Зертхана меңгерушісі кәсіпорында еңбекті қорғаудың толығымен жауаптылары болып келеді. Еңбекті қорғау бөлімі қауіпсіздік еңбек шараларында жүйелік бақылауды жүзеге асырады және зақым мен апаттан сақтандырады.

Әрбір студент лаборатория ішінде еңбекті қорғау ережесін ұстауға міндетті, жұмысқа арнайы киімде және жақсы демалған күйде арнайы сақтандыру құралдарымен кірісуі керек. Киім және тағы да басқа арнайы қорғағыш құралдары дұрыс күйде болуы тиісті. Жұмыс уақыты басталғанға дейін жұмыскер жұмыс орнының қауіпсіздігін, сақтау құралдарын, құрал-саймандарын, жұмыс істеу қабілеттілігі мен механизмдерін тексеріп алуы керек. Студенттің шашы бас киім астында болуы керек.

Жылжыту, вентиляция, жарықтандыру, электржабдықтары, сумен жабдықтандыру мен канализация, жабдықтар мен жұмыс орнын жоспарлау, тасымалдау, сақтандыру құрылғысы, жеке қорғау құралдары мен арнайы киімдері қауіпсіздік ережелер мен өндірістік санитариядағы кіреді.

Электр қауіпсіздігі. Электр тоғымен зақымдалудан қорғану іс-шараларын, электр желілерінде қысқа тұйықталудың нәтижесінде жарылыс пен өрттердің пайда болуынан қорғаныс (арнайы орындалған электр қондырғыларын пайдалану; қауіпсіз кернеулік, оларды қолмен ұстап қалудан жеткіліксіз жерге орналастыру; блоктауды, ескерту дабылдарын қолдану; қорғаныстық жерсіндіру мен өшіп қалуды; жеке қорғаныс құралдарын пайдалану т.с.с.)

Желдету және жылытуға қойылатын талаптар. Жылыту өндірістік ғимараттарға қойылатан талаптар СНЖЕ бөлімдерінің қажеттіліктерімен сәйкес ауаны желдету және кондиционерлеу МЕСТ “ССБТ жалпы санитарлық – гигиеналық” талаптарға сай болуы қажет. Технологиялық мақсаттар үшін қысқы уақытта, ауа перделерін сыртқы ауаның ағынымен ұйымдастыру қажет. Әрбір қабаттың желдетуі зиянды заттардың бөліну есебімен жүргізілуі қажет.

Ерітіндісі және электролиті бар ыдыстар жергілікті тартпалы механикалық желдеткішпен қамтамасыз етілуі қажет. Бөлінетін ауаның көлемі технологиялық нормалар бойынша анықталуы қажет.

Бөлменің микроклимат көрсеткіштері. Микроклиматтың жағымсыз әсеріне қарсы профилактика үшін келесі қорғау іс-шараларын қолданады:

- өндірістік бөлмелердің жылуы және желдетуі;
- жергілікті ауаны желдету жүйелері;
- арнаулы жұмыс киімдер және жеке қорғаныс құралдары;
- демалыс мерзімін көбейту.

Микроклиматты сипаттайтын көрсеткіштерге мыналар жатады:

- ауаның температурасы;

- ауаның салыстырмалы ылғалдылығы;
- ауаның қозғалу жылдамдығы;
- жылулық сәулеленудің интенсивтілігі.

Бөлмедегі жұмыс аймағының температурасына, салыстырмалы ылғалдылығына және ауаның қозғалу жылдамдығына байланысты.

4.2 Еңбек қорғаудағы өндірістік тазалық шаралары

- Уландыратын заттарды, олардың зиянды әсерін төмендету мақсатында, жою үшін санитарлық шаралар қолданылады. Олар: дезактивация, дегазация және киім, аяқ киім, жеке тұлғалық қорғану құралдарының дезинфекциясы.

- Санитарлық реттеу – улы заттарды, токсиндерді, адамдардың тері қабатынан, киілген жеке тұлғалық қорғаныс құралдарынан, киімнен және аяқ киімнен алып тастау.

- Дезактивация – жұғылған қабаттан улы заттарды алып тастау. Дезактивация үшін арнайы ерітінділер, стерильді ұнтақтардың су ерітінділері, қарапайым су және еріткіштер (бензин, керосин, дизельдік отын) қолданылады.

- Дегазация – уландыратын заттарды жою немесе оларды химиялық бұзу.

- Дегазация жеке тұлғалық қорғаныс құралдарын, киімді және аяқ киімді қайнату, проаммиак қосындысымен тазалау, жуу, желдету болып табылады.

- Дезинфекция – токсиндерді жою және уландыратын заттарды бұзу. Дезинфекция булы ауа қоспасымен, қайнатумен, дезинфекциялайтын ерітінділерге салып қоюмен, жуумен жүзеге асады.

- Зертханаларды жобалаудың санитарлық нормалары, жұмыс аумағындағы ауадағы газдардың, булардың, шаңның, аэрозолдердің шекті жіберілетін концентрациясы түріндегі гигиеналық нормативтерін бекітеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Қиын байытылатын аралас кендерден мысты бөліп алу үшін әдеби шолу жасалды. Нәтижесінде мыс кенін шаймалау туралы ақпарат жиналды. Қазақстандық мыс өнеркәсібінің қалдықтары сан алуан және олардың құрамындағы түсті металдардың үлесі, асыл металдар мен сирек металдардың жалпы мөлшері туралы мәліметтер қарастырылды.

Зерттеуге алынған Қоңырат кен орнының баланстан шығарылған кендерінің үлгілері таңдап алынып, оның құрамы термодинамикалық талдаумен анықталды. Нәтижесінде құрамында мыстың мөлшері 0,56 пайызға жетті.

Термодинамикалық талдаулардың нәтижесінде қалдықтың үлгілерін күкірт қышқылы ерітіндісімен шаймалау кезінде мыстың тотыққан минералдарынан толық және салыстырмалы жоғары жылдамдықпен шаймалануы жүретіндігі анықталды.

Қиынбайылатын кендерден мысты күкірт қышқылымен шаймалауға қышқыл концентрациясының, температураның, сұйық және қатты фазаларының қатынасының, шаймалау уақытының әсер етуі зерттелді.

Кендегі мыстың біраз мөлшері сульфидті минералдар түрінде болғандықтан мысты толық бөліп алу үшін кен қалдықтары алдымен тікелей шаймалау жүргіздік. Шаймалау нәтижесінде тиімді параметрлері болып келесілер табылды: күкірт қышқыл концентрациясы 50 г/дм^3 ; Қ:С— 1:2; шаймалау уақыты – 1,5 сағат. Қиынбайылатын аралас кендерден мысты бөліп алу дәрежесі 63,5 пайыз дейін жетті. Ары қарай жағары нәтижеге қол жеткізу үшін бастапқы кенді $650-750 \text{ }^\circ\text{C}$ күйдіріп, күкірт қышқыл концентрациясы 50 г/дм^3 ; Қ:С— 1:2; шаймалау уақыты – 2,5 сағат бойы шаймалау жүргізген болатынбыз. Осы зерттеу нәтижесінде 63,5 пайыздан 80,8 пайызға артты.

Зерттеу жұмысын жүргізуде қоршаған ортаны қорғау және еңбек қауіпсіздігі шаралары қарастырылды. Сонымен қатар зерттеу жүргізудің экономикалық есептеулері шешілді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Осинцев О.Е., Федоров В.Н. «Медь и медные сплавы: отечественные и зарубежные марки» 2004г.- 336с.
- Сучков Д.И. «Медь и ее сплавы Металлургия, 1967 г.
- 2 Худяков И.Ф., Тихонов А.И., Деев В.И., Набойченко С.С. Металлургия меди, никеля и кобальта. Часть 1. Металлургия меди 1977 г.
- 3 Ажибеков С.Б., Беднов В.В., Шумсков И.Е., Дауренбеков А.К., «История цветной металлургия Казахстана» 2011 г.
- 4 Moore's Compendium of Mineral Discoveries 1960-2015 by Thomas P. Moore. \ 1644 pages 1 edition, 2016. Published by Mineralogical Record, Inc. \ Источники и подробнее: www.mineralogicalrecord.com/ 2015 г.
- 5 Митчелл Р.С. Перевод с английского В.И. Кудряшов «Названия минералов» 1982 г.
- 6 Набойченко С.С., Агеев Н.Г., Дорошкевич А.П., Жуков В.П., Елисеев Е.И., Карелов С.В., Лебедь А.Б., Мамяченков С.В. Процессы и аппараты цветной металлургии. Екатеринбург, 2005 г.
- 7 В. А. Соколов, А. Н. Асабин «Основы теории металлургических процессов: Гидрометаллургические процессы» 2010г. с.116-220.
- 8 Р.А. Аргачева, П.П. Гофман, Основы теории металлургических процессов М. Металлургия, 1965 г. - 275 с.
- 9 Богатырева Е., Медведев А. Теория гидрометаллургических процессов. Теория и практика гидрометаллургических процессов, лежащих в основе производства цветных и редких металлов. 2009 г.
- 10 Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов / А.Н. Зеликман, Г.М. Вольдман, Л.В. Беляевская. М.: Металлургия, 1983 г.- 424 с.
- 11 Синявер Б.В. Гидрометаллургия меди / Б.В. Синявер, А.А. Цейд-лер. М.: Металлургия, 1971 г.- 113 с.
- 12 Набойченко С.С. Гидрометаллургия меди / С.С. Набойченко, В.И. Смирнов. М.: Металлургия, 1974 г.- 271 с.
- 13 Extractive metallurgy of copper / Mark E. Schlesinger [and other] L.Elsevier Ltd., Oxford, UK, 2011 г. 467 с.
- 14 Фазлуллина М.И. Подземное и кучное выщелачивание урана, золото и других металлов. Т. 2. М.: Руда и металлы, 2005 г. 337 с.
- 15 Аксенов А.В., Васильев А.А., Никитенко А.Г. Мировой опыт кучного выщелачивания меди из окисленных руд // Перспективы развития технологии углеводородных, растительных и минеральных ресурсов: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. Участием (Иркутск, 25–26 апреля 2013 г.). Иркутск, 2013 г. С. 63–66.
- 16 Алтушкин И.А., Король Ю.А. Экономическая оценка инновационных решений проекта освоения Михеевского месторождения медно-порфириновых руд // Горный журнал. 2012 г. № 8. С. 113–116

18 Чантурия В.А., Богачев В.И., Миненко В.Г., Абдрахманов И.А., Трофимова Э.А. <http://www.findpatent.ru/patent/235/2354819.html>

19 Авторы патента: Назимова М.И., Травников В. Н., Травникова О.Н., Крылова Л.Н., Адамов Э.В., <http://www.findpatent.ru/patent/241/2418872.html> 2012 г.