

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.03/30.12.2019.T.03.04
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

SAYNAZAROV ABDUKAXXAR MATIBRAGIMOVICH

**SULFIDLI MIS BOYITMALARINI KISLOROD MASH'ALA ERITISH
PECHIDA QAYTA ISHLASH TEXNOLOGIYASINI
TAKOMILLASHTIRISH**

05.02.01 – Mashinasozlikda materialshunoslik. Quymachilik. Metallarga termik va bosim ostida ishlov berish. Qora, rangli va noyob metallar metallurgiyasi. Kamyob, nodir va radioaktiv elementlar texnologiyasi (quymachilik va metallarga ishlov berish yo‘nalishi)

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent– 2024

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD)
dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации
доктора философии (PhD) по технических наук**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy
(PhD) on Technical Sciences**

Saynazarov Abdukaхhar Matibragimovich

Sulfidli mis boyitmalarini kislorod mash’ala eritish pechida qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish.....3

Сайназаров Абдукаххар Матибрагимович

Усовершенствование технологии переработки сульфидных медных концентратов в печах кислородно-факельной плавки..... 22

Saynazarov Abdukaхhar Matibragimovich

Improvement of technology for processing copper sulfide concentrates in flash smelting furnaces.....43

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ

List of published works47

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.03/30.12.2019.T.03.04
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

SAYNAZAROV ABDUKAXXAR MATIBRAGIMOVICH

**SULFIDLI MIS BOYITMALARINI KISLOROD MASH'ALA ERITISH
PECHIDA QAYTA ISHLASH TEXNOLOGIYASINI
TAKOMILLASHTIRISH**

05.02.01 – Mashinasozlikda materialshunoslik. Quymachilik. Metallarga termik va bosim ostida ishlov berish. Qora, rangli va noyob metallar metallurgiyasi. Kamyob, nodir va radioaktiv elementlar texnologiyasi (quymachilik va metallarga ishlov berish yo‘nalishi)

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent– 2024

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi oliy attestatsiya komissiyasida B2022.2.PhD/T2855 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Toshkent davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume) Ilmiy kengashning veb-sahifasining (www.tdtu.uz) va «Ziyonet» Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar: **Matkarimov Soxibjon Turdaliyevich**
texnika fanlari doktori, dotsent

Rasmiy opponentlar: **Norxudjaye Fayzulla Ramzanovich**
texnika fanlari doktori, professor

Tolibov Behzod Ibrohimovich
texnika fanlari doktori, dotsent

Yetakchi tashkilot: **MTTU "MISiS"ning Olmaliq filiali**

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat texnika universiteti huzuridagi DSc.03/30.12.2019.T.03.04 raqamli Ilmiy kengashning 2024 yil "10" fevral soat 11⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100095, Toshkent shahar, Olmazor tumani, Universitet ko'chasi 2-uy. Tel/faks.: (99871)277-10-32, e-mail: (tadqiqotchi@tdtu.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat texnika universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (328 raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100095, Toshkent shahar, Olmazor tumani, Universitet ko'chasi 2-uy. Tel/faks.: (99871)277-10-32).

Dissertatsiya avtoreferati 2024 yil "29" yanvar kuni tarqatildi.
(2024 yil "29" yanvardagi № 174 raqamli ryestr bayonnomasi).



K.A. Karimov

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash raisi,
texnika fanlari doktori, professor

Sh.B. Tashbulatov

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash ilmiy kotibi,
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

N.D. Turaxodjaye

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar
raisi, texnika fanlari doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining avtoreferati)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va dolzarbligi. Jahonning yetakchi mamlakatlari 2050 yilga kelib nol emissiyaga erishish maqsadlarini qabul qildi, bu esa mis metalliga katta ehtiyoj sezadigan texnologiyalarning paydo bo'lishiga olib keladi, ya'ni yashil energiyaning rivojlanishi bilan misga talab ortib boradi. Shuning uchun xom ashyodan misni maksimal ajratib olishga imkon beradigan samarali texnologiyalarni ishlab chiqish dolzarbligi oshadi. Jahon mis eritish sanoatida energiya tejaydigan texnologiyalardan foydalangan holda sulfidli mis boyitmalarini kompleks qayta ishlashga alohida e'tibor qaratilmoqda. Shu bilan birga, rangli metallarning minimal yo'qotilishini va ularni xomaki misga maksimal darajada ajratib olishni ta'minlaydigan kislorod mash'ala eritish pechida sulfidli mis boyitmalarini qayta ishlashning samarali texnologiyasini ishlab chiqish eng muhim vazifalardan biridir. Shu sabadan mis xom ashyosini eksport qiluvchi mamlakatlar (Chili, Peru, Avstraliya, Kanada) va ayniqsa xom ashyo import qiluvchi (Xitoy, Yaponiya, Koreya, Shvetsiya, AQSH, Germaniya, Ispaniya, Rossiya, Turkiya) mamlakatlari ilmiy markazlari sulfidli mis boyitmalarini samarali qayta ishlashga alohida e'tibor berishmoqda.

Jahonda bozor iqtisodiyoti sharoitida, ayniqsa, boshqa mamlakatlardan xom ashyo sotib olayotganda, ishlab chiqarilayotgan mahsulotlarning raqobatbardoshligini oshirishga, ularning tannarxi va energiya sarfini kamaytirishga, investitsiyalar jalb qilishga, yangi bozorlar va imkoniyatlarning ochilishiga innovatsiyalarning roli sezilarli darajada muhim hisoblanadi. Hozirgi vaqtda mis boyitmalarini qayta ishlashda eritish rejimi parametrlarini boshqarish metalurgik agregatning shixta eritish bo'yicha unumdorligini, shixtaning tarkibini va shteyn tarkibidagi mis miqdoriga o'zgartirish orqali amalga oshiriladi. Kislorod mash'ala eritish pechining ish unumdorligi va/yoki pechning ishlamay qolishi texnologik zanjir bo'yicha keyin turuvchi (konverterlar, olovli tozalash pechlari, sulfat kislota va elektroliz sexlari) yuklanmalarining o'zgarishiga sabab bo'lmoqda.

Respublikada so'ngi yillarda yoqilg'i-energiya resurslari narxlari va mineral xom ashyo qazib olish tannarxining oshishi, shuningdek yirik sanoat korxonalarini atrofidagi yuzaga kelayotgan ekologik muammolar chiqindisiz va energiya tejankor texnologiyalarni rivojlantirish vazifasini qo'yimoqda. Bu holat xomaki misning 60%dan ortig'i kislorod mash'ala eritish pechi yordamida ishlab chiqarilishi bilan izohlanadi. Shu sabadan sulfidli mis boyitmalarni kislorod mash'ala eritish pechida qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish muhim hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son «Yangi O'zbekistonning 2022-2026 yillarga mo'ljallangan rivojlanish strategiyasi to'g'risida»gi Farmonidagi va O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018 yil 27 apreldagi PQ-3682-son «Innovatsion g'oyalar, texnologiyalar va loyihalarni amaliyotga tatbiq etish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi, 2019 yil 17 yanvardagi PQ-4124-son «Kon-metallurgiya

korxonalari faoliyatini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi, 2021 yil 24 iyundagi PQ-5159-son «Kon-metallurgiya sanoati va unga aloqador tarmoqlarni rivojlantirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida»gi Qarorlarida, shuningdek ushbu sohada qabul qilingan boshqa me'yoriy hujjatlarda nazarda tutilgan vazifalarni bajarishga xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Dissertatsiya ishi bo'yicha tadqiqotlar respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining II "Energetika, energiya va resurs tejamlilik" ustuvor yo'nalishiga mos keladi.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Dunyoning ko'plab mamlakatlari olimlari metallurgiya pechlarida sulfid mis boyitmalarini qayta ishlashning samarali texnologiyasini ishlab chiqish bo'yicha ko'plab tadqiqotlar olib borishmoqda. Dunyoning yetakchi olimlari F.Xabashi, K.Rotuska, T.Chmiyelevski, K.Makkuin, D.Giurko, M.Styuart, J.Petri, Vey Vang va Jinjong Lu kislorod mash'ala eritish pechida sulfid mis boyitmalarini eritishning eng optimal parametrlarini aniqlash bo'yicha tadqiqot ishlarini olib borishgan. Ushbu tadqiqotlar natijasida kislorod mash'ala eritish pechining ishlab chiqarish unumdorligini oshirishga erishilgan. P.Amelunxen, R.Amelunxen, M.Bernardgiyes, A.Burrouz, J.Joven, B.Hiski va N.Xogan mis ishlab chiqarish shlaklarini qayta ishlashning turli usullarini ishlab chiqdilar, buning natijasida metallarni tayyor mahsulotga ajratib olishning oshishiga erishilgan.

MDH olimlari S.Kojaxmetov, N.Dosmuxamedov, M.Dussebekova, L.Sokolovskaya, G.Karamyrzayev, V.Roshchin, A.Likasov, I.Borodin, A.Fedorov, A.Komkovlar sulfid mis boyitmalarini qayta ishlash jarayonida misni yo'qotishning ko'payishiga sabab bo'ladigan komponentlarning shakllanishi sabablarini batafsil o'rganishgan, natijada ushbu moddalarning pechlarda shakllanishini kamaytirish usullari bo'yicha metodika ishlab chiqishgan. A.Vanyukov, V.Zaysev, A.Tarasov, Yu.Kupryakov, V.Bistrov va V.Kaplanlar mis xom ashyosini eritishning texnologik jarayonlarida koks, ko'mir, pirit kabi qaytaruvchi qo'shimchalar ishlatishgan va eritish pechlarining issiqlik-texnik rejimlarida o'zgarishlarga erishishgan. O'zbek olimi A.Yusupxodjayev mis ishlab chiqarishda misning shlaklar bilan yo'qotilishini konverterlar shlaklari bilan rux ishlab chiqarishda hosil bo'ladigan klinkerni qayta ishlash hisobiga 20% ga kamaytirish texnologiyasini yaratgan. A.Xasanov esa mis ishlab chiqarish shlaklarini suyuq holatda qayta ishlash uchun termogravitatsiya usulini ishlab chiqqan.

Kislorod mash'ala eritish pechida sulfidli mis boyitmalarini qayta ishlash sohasidagi ko'plab ilmiy yutuqlarga qaramay, hal qilinmagan ko'plab muammolar mavjud. Xususan, sulfid mis boyitmalarini qayta ishlashning chiqindisiz texnologiyasi ishlab chiqilmagan. Yuqorida sanab o'tilgan muammolarning yechimini va texnologiyaning rivojlanishini aniqlash uchun shlakdagi mis yo'qotishlariga ta'sir qiluvchi asosiy omillarni aniqlash, shlakning fizik-kimyoviy xususiyatlarini o'rganish va kislorod mash'ala eritish pechda sulfid mis boyitmalarini eritish uchun maqbul parametrlarni aniqlash yetarli darajada o'rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqotlari Toshkent davlat texnika universitetining OT-A13-02 "Misning chiqindi shlaklari bilan isrofini kamaytirish texnologiyasi va kam chiqindi ishlab chiqarishni tashkil etish" (2017-2018) amaliy loyihasi hamda № 63-172 yur x/sh 5/20 "Noyob, tarqoq, nodir, rangli va qora metallar resurslarini aniqlash uchun "Olmaliq KMK" AJ ikkilamchi texnogen chiqindilarining moddiy tarkibini tahlil qilish" (2020-2021) mavzusidagi xo'jalik shartnomasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi rangli metallarning minimal yo'qotilishini va ularni xomaki misga maksimal darajada ajratib olishni ta'minlaydigan kislorod mash'ala eritish pechida mis sulfidli boyitmalarini qayta ishlashning samarali texnologiyasini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

chiqindi shlaklar tarkibida qimmatbaho komponentlarning yo'qolishiga ta'sir qiluvchi asosiy omillarni aniqlash va ifodasini keltirib chiqarish;

eruvchi mahsulotlar kimyoviy tarkibining shlakning fizik-kimyoviy xossalari ta'sir ifodasini keltirib chiqarish;

eritishdan hosil bo'lgan shlakda kremniy dioksidi (SiO_2) ning zarur tarkibini ta'minlash uchun pechga texnik kislorod berishdan oldin shixtaga kvarts tarkibli xom ashyolar qo'shilish texnologiyasini ishlab chiqish;

sulfidli mis boyitmalarini kislorod-mash'ala eritish pechida eritishning optimal rejimlarini aniqlash va tashlanma shlaklarda misning miqdorini minimal darajagacha tushirishni ta'minlash ifodasini keltirib chiqarish;

kislorod-mash'ala eritish pechining ishlab chiqarish unumdorligini barqarorlashtirish ifodasini keltirib chiqarish;

pechga beriladigan kislorod ta'minoti parametrlarini o'zgartirish orqali pechdagi issiqlik harakati tartibini boshqarish texnologiyasini ishlab chiqish;

shlaklarni pechdan tashqarida "kovsh" (cho'mich) larda sekin sovitish orqali qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish.

Tadqiqotning obyekti sifatida amaldagi texnologiya, qayta ishlanadigan xom ashyolar, mahsulotlar va sulfidli mis boyitmalarining kislorod mash'ala eritish ko'rsatkichlari olingan.

Tadqiqotning predmetini sulfid mis boyitmalarini kislorod mash'ala eritish pechida qayta ishlashda misning shlak bilan minimal darajada yo'qotishlarini ta'minlash hamda mis ishlab chiqarish samaradorligini oshirish texnologiyasini takomillashtirish tashkil qiladi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida zamonaviy nazariy va amaliy kompleks tadqiqot usullari (bog'liqlik diagrammalarini yaratish orqali ishlab chiqarish ma'lumotlarini statistik tahlil qilish), laboratoriya, yarim sanoat va sanoat tajribalari, kimyoviy va xom ashyo tarkibini tahlil qilish, fizik-mexanik, kimyoviy va fizik-kimyoviy tadqiqot usullari (IQ spektroskopiyasi, elektron mikroskopiya, XRD, SEM), JEOL JSM-IT 200 rusumli skanerlovchi elektron mikroskopda mikroskopik tahlil hamda MTDATA termokimyoviy dasturiy ta'minot to'plami yordamida termodinamik modellashtirish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

misni ajratib olishni qiyinlashtiradigan magnetit miqdorini kamaytirishda kvarts birikmalarini qo'llash orqali sulfidli mis boyitmalarini qayta ishlash usuli ishlab chiqilgan;

kislorod mash'ala eritish pechida maxsus yondirgichlar orqali shixta va texnik kislorodni etkazib berish burchagini o'zgartirish orqali vodorod sulfidining gaz fazasida qolish vaqtini qisqartirish hamda chiqindi gazlar bilan shixtadagi asosiy komponentlarning yo'qotilishini 4-5% ga kamaytirish texnologiyasi ishlab chiqilgan;

shlakdagi mis tarkibiga ta'sir qiluvchi asosiy omil pechdagi issiqlik rejimining buzilishi va kislorodning solishtirma sarfi nazariy jihatdan talab qilinadigan miqdoriga nisbatan o'zgarishi ko'rsatkichlari takomillashtirilgan;

kislorod mash'ala pechida eritiladigan shixtaning tarkibiga qarab jarayonning optimal rejimlarini hisoblash uchun kompyuter dasturi ishlab chiqilgan.

eritishdan hosil bo'lgan shlaklarni issiqlik energiyasi ta'sirida 5-10 mikrondan 50-70 mikrongacha bo'lgan mayda mis va uning sulfidlari zarralari koagulyatsiyasi sodir bo'lish dinamikasi asosida pechdan tashqarida "kovsh" (cho'mich)larda sekin sovitish texnologiyasi takomillashtirilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

kislorod-mash'ala eritish pechining samarali ishlashi uchun optimal texnologik shartlar ishlab chiqilgan;

erish mahsulotlari tarkibining kislorod solishtirma sarfiga mos ravishda o'zgarishining asosiy qonuniyatlari optimallashtirilgan;

muvozanat doimiysi, entalpiya, entropiya va Gipps energiyasidagi o'zgarishlarni hisoblashning maqsadga muvofiqligi, shuningdek shixtaning erish vaqtida «shlak-shteyn» sistemasidagi turli haroratlardagi erkin energiya va reaksiyalar tezligini hisoblash mumkinligi asoslangan;

jarayonda foydalanilayotgan agregatning maksimal samaradorligini ta'minlaydigan, ya'ni olovbardosh g'ishtlar, sovutish kessonlarining ishlash muddati va pechning barqaror ishlashini ta'minlaydigan issiqlik yordamida eritishning optimal rejimlari ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot yakunida o'z aksini topgan umumnazariy xulosalar, sulfidli mis boyitmalarini kislorod mash'ala eritish pechida qayta ishlashda olib borilgan eksperimental tadqiqotlarining ko'pligi va olingan natijalarning matematik hisoblashlar asosida qayta ishlov berilishi, shlakdagi mis, temir, oltingugurt, kremniy va boshqa komponentlarning kimyoviy tahlili zamonaviy texnika va texnologiyalardan foydalanish asosida aniqlangan fizik-kimyoviy xossalarning ko'rsatkichlari, ilmiy hamda eksperimental natijalar bilan taqqoslash orqali izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati kislorod-mash'ala eritish pechlarida sulfidli mis boyitmalarini qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish maqsadida shlakli-shteynli sistemalarning fizik-kimyoviy xususiyatlari o'rganilishi, chiqindi shlaklar tarkibida qimmatbaho komponentlarning yo'qolishiga ta'sir qiluvchi asosiy omillarni aniqlash ifodasini keltirib chiqarilishi, eruvchi mahsulotlar kimyoviy tarkibining

shlakning fizik-kimyoviy xossalari ta'sirini o'rganilishi hamda shlakdagi qimmatli komponentlarning miqdorlari o'zgarishi uchun ta'sir qiluvchi asosiy omillar tahlil qilish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati eritishdan hosil bo'lgan shlakda kremniy dioksidi (SiO_2) ning zarur tarkibini ta'minlash uchun pechga texnik kislorod berishdan oldin shixtaga kvarts tarkibli xom ashyolar qo'shilishi, sulfidli mis boyitmalarini kislorod-mash'ala eritish pechida eritishning optimal rejimlarini aniqlash va tashlanma shlaklarda misning miqdorini minimal darajagacha tushirishi, kislorod-mash'ala eritish pechining ishlab chiqarish unumdorligini barqarorlashtirish ko'rsatkichlarini aniqlanishi, pechga beriladigan kislorod ta'minoti parametrlarini o'zgartirish orqali pechdagi issiqlik harakati tartibini boshqarish texnologiyasini ishlab chiqilishi, gorelkalarni shixta bilan mo'tadil ta'minlash, sulfidlarning oksidlanish zonasini apteyk ostida ushlab turish va undagi mahsulotlarni bir tekis qizdirish orqali agregatlarning ish samaradorligi barqarorlash hamda olovbardosh g'ishtlarning xizmat qilish muddatlarini oshirish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Sulfidli mis boyitmalarini kislorod mash'ala eritish pechlarida qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

Kislorod mash'ala pechiga texnik kislorod berishdan oldin shixta tarkibiga kremniy asosli xom ashyo qo'shib yuklash texnologiyasi joriy qilingan (Olmaliq kon-metallurgiya kombinati 2023 yil 5 apreldagi SL 0456-son ma'lumotnomasi). Buning natijasida eritmada hosil bo'ladigan magnetitning miqdori pasayib, shlakda misning yo'qolishini 0,3 - 0,5% ga kamaytirish imkonini bergan.

Kislorod mash'ala pechiga maxsus yondirgichlar orqali shixta va texnik kislorodni berish burchagini 26^0 dan 30^0 gradusga o'zgartirish texnologiyasi joriy qilingan (Olmaliq kon-metallurgiya kombinati 2023 yil 5 apreldagi SL 0456-son ma'lumotnomasi). Natijada sulfidli mis boyitmasini gaz fazasida bo'lish vaqtini kamayishiga, pech futerovkasini tez yemirilishini oldini olishga hamda shixta tarkibidagi asosiy komponentlarning gaz bilan yuqolishini 4-5% ga kamaytirish imkonini bergan.

Sulfidli mis boyitmalarini kislorod mash'ala pechida eritishda kislorodni berish ko'rsatkichini o'zgartirish orqali pechdagi issiqlik harakatlanish tartibini boshqarish texnologiyasi joriy etilgan (Olmaliq kon-metallurgiya kombinati 2023 yil 5 apreldagi SL 0456-son ma'lumotnomasi). Natijada shlakda ko'pik hosil bo'lish jarayoni kamaydi hamda shteynga misning o'tish darajasi 94,0-95,0% ga oshirishga erishilgan. Joriy etishdagi yillik iqtisodiy samaradolik 702 760 950 (yetti yuz ikki million yetti yuz oltmish ming to'qqiz yuz ellik) so'mni tashkil etgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiyaning tadqiqot natijalari 5 ta xalqaro va 3 ta respublika ilmiy – amaliy anjumanlarida ma'ruza qilingan va muhokamadan o'tgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 18 ta ilmiy ish chop etilgan. O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya

komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarida 8 ta maqola, jumladan 5 tasi Respublika va 3 tasi xorijiy jurnallarda nashr etilgan. №IAR 04663 “Kislorod mash’ala eritish pechida sulfidli mis boyitmalarini eritish usuli” nomli ixtiroga patent olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxatidan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 120 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning kirish qismida tanlangan mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, tadqiqotning obyekti va predmeti aniqlangan, tadqiqotning O‘zbekiston Respublikasi fan va texnika taraqqiyotining ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, ularning ishonchligi asoslangan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, ishni aprobatsiya qilish ko‘rsatilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi haqida bayon qilingan.

Dissertatsiyasining **“Mis ishlab chiqarish texnologiyasining an’anaviy ahvoli”** deb nomlangan I - bobida kislorod mash’ala eritish pechida sulfidli mis boyitmalarini qayta ishlashning mavjud texnologiyalari, shlak hosil bo‘lish jarayonlari, shlakning fizik-kimyoviy xossalari, shuningdek ularni eritishning hozirgi holati bo‘yicha tadqiqotlarga bag‘ishlangan ishlar ko‘rib chiqilgan hamda ushbu muammolarni yechishning zamonaviy holatdagi yechimlari o‘rganilgan.

Metallurgiya pechlarida sulfidli mis boyitmalarini qayta ishlash texnologiyasi sohasida xorijiy va respublika olimlarining olib borgan ilmiy-tadqiqot ishlari o‘rganilgan va tahlil qilingan.

Sulfidli mis boyitmalarining kislorod mash’ala eritish pechida eritishning samarali texnologiyalari, xom ashyoni quritish muammosi, shteyn bilan qimmatbaho komponentlarning maksimal miqdori, shlaklar tarkibida qimmatbaho komponentlarning minimal miqdorda o‘tishi hamda xosil bo‘lgan shlaklarni keyinchalik qayta ishlash texnologiyalari haqida dissertatsiya ishida keng o‘rganilgan.

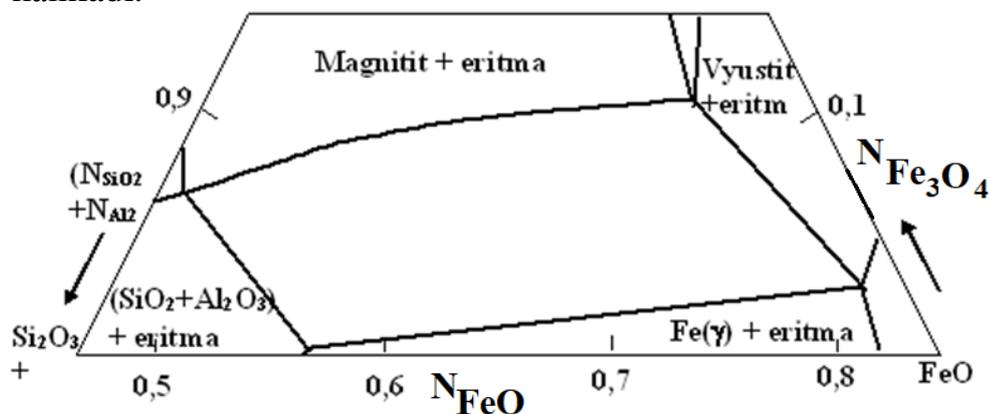
Dissertatsiyaning **“Kislorod mash’ala eritish pechlarida sulfidli mis boyitmalarini qayta ishlashni amalga oshirish metodologiyasi va tadqiqot ob’ektlarini tanlash”** deb nomlangan II - bobida tadqiqot ob’ektini tanlash, ishlatiladigan xom ashyolarning asosiy fizik-kimyoviy xossalari taqdim etadi, shuningdek, xom ashyolarning xususiyatlarini o‘rganish uchun zamonaviy fizik-mexanik, kimyoviy va fizik-kimyoviy usullar va jihozlardan foydalanish (IK spektroskopiya, elektron mikroskop, XRD, SEM), qo‘llaniladigan usullar (bog‘liqlik diagrammalarini qurish bilan ishlab chiqarish ma‘lumotlarini statistik tahlil qilish), MTDATA termokimyoviy dasturiy ta‘minot to‘plami yordamida termodinamik modellashtirish. Tadqiqot ob’ekti sifatida sulfidli mis boyitmalarini kislorodli mash’al bilan eritishning hozirgi texnologiyasi, qayta ishlangan xom ashyolari, mahsulotlari va parametrlari tanlangan.

Hisob-kitoblarni soddalashtirish uchun kislorodli mash'ala eritishni hisoblash dasturi tuzilgan bo'lib, qayta ishlangan shixta tarkibi uchun xom ashyo va issiqlik balansini avtomatik ravishda hisoblab chiqadi. Hisoblash natijalarini tahlil qilib, dastur optimal eritish parametrlarini (texnik kislorodning o'ziga xos iste'moli; ushbu parametrlar bo'yicha olingan shlak va shteyn tarkibi; yoqilg'iga ehtiyoj va miqdori) aniqlaydi.

Dissertatsiyasining **“Sulfidli mis boyitmalarini kislorod mash'ala eritish texnologiyasi bo'yicha tadqiqotlar”** deb nomlangan III - bobi tadqiqot natijalariga bag'ishlangan bo'lib, shlak-shteyn sistemalarining fizik-kimyoviy xossalarini o'rganish, “shlak-shteyn-gaz fazasi” tizimidagi muvozanatni aniqlash, “mis-shlak-gaz fazasi” tizimidagi komponentlarning faolligini o'rganish, shlak bilan mis yo'qotishlariga ta'sir etuvchi asosiy omillarni o'rganish kabi tadqiqotlar amalga oshirilgan.

Sulfidli mis boyitmalarini avtogen eritishda turli minerallardan tashkil topgan shixta (masalan, eng oddiy holatda FeS_2 , CuFeS_2 , SiO_2 , CaCO_3 , Al_2O_3 va boshqalar)ning $\sim 1600-1800 \text{ K}$ ($1327-1527 \text{ }^\circ\text{C}$) haroratda gazsimon kislorod mash'alasi bilan o'zaro ta'sir qiladi. Natijada, asosan mis va temir sulfidlardan tashkil topgan shteyn; kremniy, kalsiy, alyuminiy oksidlari deyarli to'liq boyitmasiyalangan, o'zining stexiometrik tarkibini deyarli o'zgartirmaydigan ikki va uch valentli temir oksidlarini o'z ichiga olgan konsentratsiyalarining nisbati asosan tizimdagi kislorodning parsial bosimi bilan belgilanadigan shlaklar hosil bo'ladi.

Amalda, bunday murakkab ko'pkomponentli tizim haqida tizimlashtirilgan ma'lumotlarning yetishmasligi tufayli, hatto barcha muvozanat fazalarining tarkibini aniq bashorat qilishga imkon beradigan xom ashyoning soddalashtirilgan tarkibi uchun ham metallurklar shteyn va shlak tarkibini taxminan hisoblab chiqaradilar, jumladan boshlang'ich xom ashyolarning tarkibi va oksidlovchi miqdori eritishga kiritilayotgan tarkiblar va kutilgan o'zaro ta'sirlar. Shu bilan birga, muvozanat fazalarining tarkibini aniqroq aniqlash uchun jarayonni modellashtirish uchun kimyoviy reaksiyalarning termodinamik hisob-kitoblari keng qo'llaniladi.

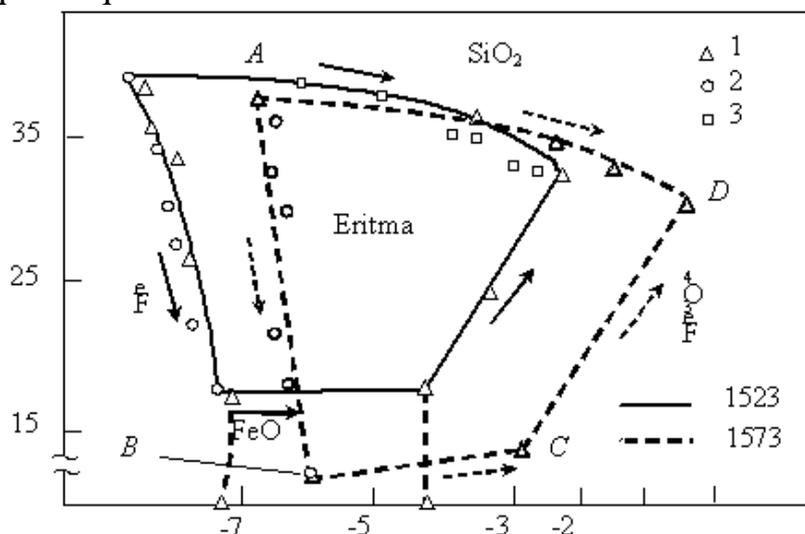


1-rasm. FeO-Fe₃O₄-(SiO₂+Al₂O₃) sistemasining 1550 K (1277⁰C) haroratdagi izotermik kesimi

Uchtalik sistema $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-(SiO}_2\text{+Al}_2\text{O}_3)$ bo'yicha bir qator izlanishlar amalga oshirilgan. 1-rasmda diagrammaning izotermik kesimi 1550 K (1277°C) da ko'rsatilgan. Gomogen shlaklar mintaqasi qattiq fazalar ajralib turadigan to'rtta mintaqasi bilan chegaradosh: metallik holatdagi temir, vyustit, magnetit va kvars. Diagramma maydonidagi kislorodning muvozanat bosimi bir necha kattalik buyurtmalariga ko'ra - 0,1 - 1,0 mkPa gacha o'zgaradi, eritmaning to'yinganlik chegarasida $\gamma\text{-Fe}$ va magnetitning to'yinganlik chegarasida 0,1 - 1,0 dPa gacha. Shlakdagi ikki va uch valentli temirning P_{O_2} tarkibi bilan bog'liq va quyidagi kimyoviy reaksiya mos keladi:



Kattalikning oshishi reaksiya muvozanatining o'ngga siljishiga va eritmadagi Fe^{3+} miqdorining mos ravishda oshishiga olib keladi. Gomogen ko'rinishida erigan soha ichidagi komponentlarning faolligi o'rganilmagan. Qattiq fazalar bilan bir xil shlak eritmalarining to'yinganlik chegaralari bo'ylab komponentlarning (FeO , Fe_3O_4 , SiO_2) faolligini hisoblash Gibbs-Dyugema tenglamasini tegishli ikki fazali mintaqaga birlashtirish orqali aniqlanadi.



2-rasm. 1523 va 1573 K ($1250\text{-}1300^\circ\text{C}$) haroratlarda temir-silikatli shlaklarining gomogen sohasi chegaralari: 1, 2, 3 – turli mualliflarning ma'lumotlari.

Amalda, gomogen sohada doimiy silikat tarkibiga ega bo'lgan va geterogenlash bilan shlak tarkibining o'zgarishi tizimdagi kislorodning faolligi yoki qisman bosimi bilan belgilanadi. Shuning uchun, 2-rasmda ko'rib chiqilayotgan tizimdagi shlakli bir xillik maydoni (SiO_2)- $\lg\text{P}_{\text{O}_2}$ koordinatalarida ko'rsatilgan. Ulardagi chiziqlar va eksperimental nuqtalar bir xillik mintaqasi chegaralarining koordinatalarini ko'rsatadi. Kimyoviy belgilar bir xil shlak eritmasi chegaradan tashqariga siljiganida paydo bo'ladigan birgalikda mavjud fazalarni ko'rsatadi.

Mis shlakda ikki shaklda yo'qoladi: erigan va mexanik yo'qotishlar shaklida. kislorod mash'ala eritish pechi shlaklaridagi mexanik va erigan mis yo'qotishlarining miqdori 2:3 ga teng (jami 1,40%, shundan 0,55% mexanik, 0,85% erigan yo'qotishlar).

Kislorod mash'ala eritish pechi shlaklarida sulfid suspenziyasi shakllanishining asosiy sababi shlak eritmasida erigan rangli metallarni sulfidlash yoki kamaytirish jarayonidir. Ushbu jarayonning ta'siri oksidlanish – qaytarilish jarayonlarining almashinishida va shlak eritmasining oksidlanish potensialining o'zgarishida namoyon bo'ladi. Shlakning oksidlanish salohiyati eritmadagi erkin O^2 anionlarining boyitmasiyasi bilan belgilanadi, bu shlakdagi kuchli modifikator kationlari, birinchi navbatda Fe^{3+} va kremniy tarkibiga bog'liq. Unda erigan mis tarkibini aniqlaydigan shlak eritmasining oksidlanish potentsiali va uning kamayishi nozik dispers sulfid suspenziyasining hosil bo'lishidir.

Shlaklardagi shteynning mayda dispers suspenziyasining yakuniy tarkibi dispersiya va birlashish jarayonlarining nisbati bilan belgilanadi. Shteyn zarrachalarining kichik boyitmasiyasi va muhitning yuqori yopishqoqligi (shlak) sanoat shlaklarida mayda dispersli suspenziyaning katta barqarorligini aniqlaydi. Shuning uchun dispersiyani kamaytirish va to'xtatilgan zarrachalarning birlashishini yaxshilash masalalari misning yo'qolishlarini shlaklar bilan kamaytirish uchun muhim ahamiyatga ega. Nozik suspenziyaning shakllanishiga ham, uning barqarorlashishiga ham ta'sir qiluvchi asosiy omillardan biri magnetitdir.

Erigan mis miqdori (0,85%) kislorod mash'ala eritish shlaklarida juda yuqori, bu katta oksidlovchi potensial (15% Fe_3O_4) va shlak muhitining asosliliigi bilan izohlanadi. Magnetitning yuqori miqdori shlak-shteyn chegarasidagi fazalar aro kuchsiz tortishish orqali va va misning sezilarli mexanik yo'qotishlarini (0,55%) aniqlaydi. Kislorod mash'ala eritish pechi shlaklari bilan yo'qolgan mis miqdori sulfidlarning chuqur oksidlanishiga asoslangan jarayonning o'zi bilan belgilanadi. Magnetitning sezilarli paydo bo'lishi shlakda mis sulfidning eruvchanligini oshirishga va oksidlanish–qaytarilish jarayonlarining almashinishi mayda dispersli sulfid suspenziyasining shakllanishiga olib keladi.

Dissertatsiyaning **“Kislorod-mash'ala eritish pechida sulfidli mis boyitmalarini qayta ishlashning samarali texnologiyasini ishlab chiqish”** deb nomlangan IV - bobida mis ishlab chiqarishdagi shlaklarni qayta ishlash uchun chiqindisiz texnologiyani sinovdan o'tkazish va joriy etish natijalariga bag'ishlangan.

Sulfidli mis boyitmalarini kislorod bilan eritishning bunday rejimini maqbul deb hisoblash mumkin, bunda qimmatli komponentlarning minimal yo'qotishlari, minimal darajada chang chiqishi va jihozning maksimal ishlashiga erishiladi.

Ishlab chiqarish ma'lumotlarini chuqur tahlil qilish boshqa avtogen jarayonlarga nisbatan mash'alali eritishning kamchiliklarini bartaraf etish va uning optimal rejimlarini aniqlash imkonini berdi.

Kislorod mash'ala eritish quyidagi kamchiliklarga ega:

1. Ishlab chiqarish quvvatini o'zgartirmasdan turib, pechdagi haroratni nazorat qilishning murakkabligi. Kislorod iste'moli doimiy bo'lgani uchun (kislorod stansiyasi belgilangan ma'lum bir ishlab chiqarish quvvatiga mo'ljallangan), shixta va kislorod miqdorlarining nisbatlari shixta sarfini o'zgartirish orqali tartibga solinadi. Kislorod mash'ala eritish pechining

ishlashining o'zgarishi texnologik zanjirga (konvertorlar, olovli tozalash pechlari va sulfat kislota va elektroliz sexlari) yuklanmalarning o'zgarishiga sabab bo'ladi.

2. Erish mahsulotlarining tarkibini tartibga solishning qiyinligi. Shixta o'zgaruvchan tarkibga ega, harorat rejimini saqlab turadi, kislorodning solishtirma sarfi bir tonna shixta uchun 230-250 m³ orasida o'zgarib turadi. Natijada, desulfurizatsiya darajasi o'zgaradi, bu shteyn va shlakdagi mis tarkibini aniqlaydi.

3. Shlakdagi mis miqdori yuqoriligi. Umumiy desulfurizatsiyaning oshishi bilan magnetit (Fe₃O₄) va mis oksidi (Cu₂O) bilan vannaga kiradigan kislorod ulushi ortadi. Magnetitning sezilarli hosil bo'lishi shlakda mis sulfidning eruvchanligini oshirishga olib keladi va oksidlanish–qaytarilish jarayonlarining almashinishi mayda dispers sulfid suspenziyasining shakllanishiga olib keladi. Oxir oqibat, bu shlaklar tarkibidagi misning yuqori shakllanishiga olib keladi (0,7 – 1,5%).

4. Katta miqdorda chang chiqishi (qayta ishlangan shixta massasining 7-8%).

5. Granulometrik va kimyoviy tarkibga, shuningdek qayta ishlangan shixtaning namligiga qo'yiladigan yuqori talablar.

Bizning vazifamiz kislorod mash'ala eritish pechda mis sulfid boyitmalarini qayta ishlashning samarali texnologiyasini ishlab chiqish edi, bunga yuqoridagi barcha muammolarni hal qilish orqali erishiladi.

Bundan tashqari kislorod mash'ala eritish pechida mis sulfid boyitmalarini qayta ishlashning samarali texnologiyasini ishlab chiqish bo'lib, bunga yuqoridagi barcha muammolarni hal qilish orqali erishiladi.

Birinchi muammo – shixta tayyorlash narxini kamaytirish hal qilishning iloji yo'q. Bu avtogenlik uchun to'lovning bir turi, biroq quritgich quvurlarida shixtani quritish texnologiyasi ishonchli va yuqori ko'rsatkichlarga ega.

1-jadval

Smenalardagi maksimal va minimal mis yo'qotishlari haqidagi ma'lumotlar

Smena-lar	Erituvchi xom ashyolar va mahsulotlar	Murakkab, %					Eritma, tonna	Kislorod sarfi (m ³ /t)
		Cu	FeO	CaO	SiO ₂	S		
A	Shixta	13,94	42,78	1,0	16,34	23,84	275	269
	Shteyn	45,34				24,5		
	Shlak	1,04	42,79	2,8	36,64	-		
B	Shixta	12,56	40,14	1,0	25,32	18,88	110	736,4
	Shteyn	52,50						
	Shlak	1,33	48,88	1,04	33,50	-		
C	Shixta	10,59	42,67	1,0	13,24	30,40	715	147,55
	Shteyn	24,84						
	Shlak	0,35	40,12	2,52	38,80			
D	Shixta	9,26	42,16	1,0	16,84	28,64	605	185,57
	Shteyn	25,56						
	Shlak	0,54	40,46	1,73	36,46	-		

Amalda, jarayon empirik tarzda amalga oshiriladi – harorat pasayganda yuklanma kamayadi va u ko‘tarilganda esa aksincha ortadi, chunki kislorod ta‘minoti doimiy bo‘lib qoladi (havoni ajratish sexi ma‘lum bir belgilangan ishlab chiqarish quvvati uchun mo‘ljallangan). Bunday holda, "shixta:kislorod" nisbati o‘zgaradi. Jarayonni o‘tkazishning ushbu usulining natijasi o‘zgaruvchan mahsuldorlik va shixtaning to‘liq oksidlanishidir.

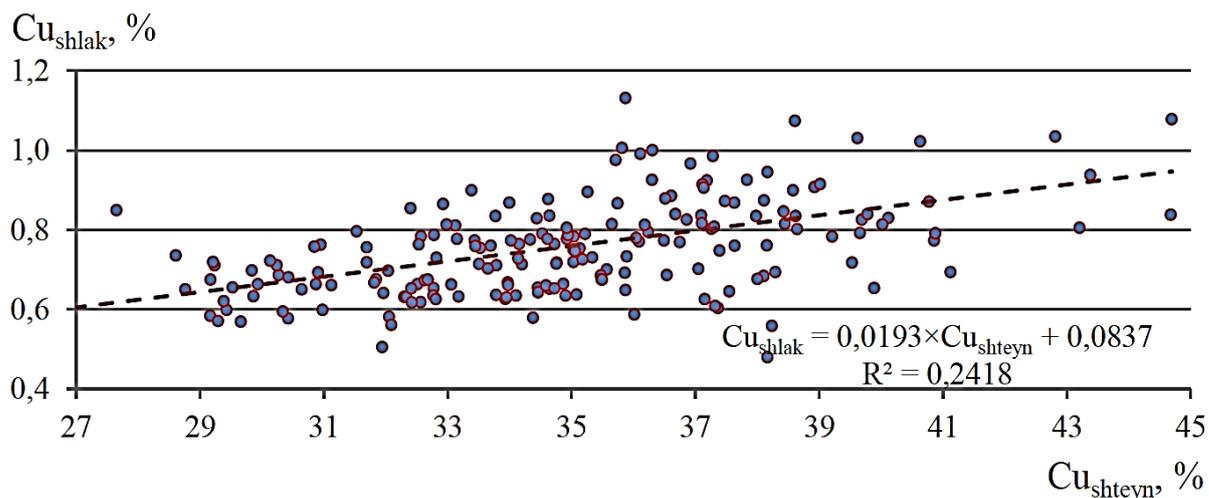
Faqat ushbu usul bilan haroratni saqlab turish orqali ishlab chiqaruvchilar erituvchi mahsulotlarning boshqa tarkiblarini olishadi.

Misol tariqasida, misning shlak bilan maksimal va minimal yo‘qotishlari kuzatilgan siljishlarning erishini 1-jadvalda ko‘rib chiqilgan.

Ma‘lumotlarni tahlil qilish bizning xulosalarimizni tasdiqlaydi. A smenasida oltingugurt miqdori (asosiy issiqlik manbai) 18,88% gacha tushdi va harorat rejimini saqlab turish uchun kislorod iste‘moli oshirildi. Mash‘aladagi kislorodning qisman parsial bosimining oshishi magnetit hosil bo‘lishiga, shlakning oksidlanish potensialining oshishiga olib keladi, bu esa o‘z navbatida undagi erigan mis tarkibini oshiradi. C smenasida oltingugurt miqdori yuqori, kislorod iste‘moli nazariy jihatdan zarur bo‘lganidan past, shixta kam oksidlangan, natijada shteynda mis (24,84%) kam bo‘lgan. Shlak tarkibidagi mis asosan mayda dispersli sulfidli suspenziya bilan ifodalanadi, cho‘kma paytida tomchilarning birlashishi kuzatilmaydi.

Zavod ma‘lumotlariga asoslangan diagrammalar nazariy tadqiqotlar natijalarini tasdiqlaydi.

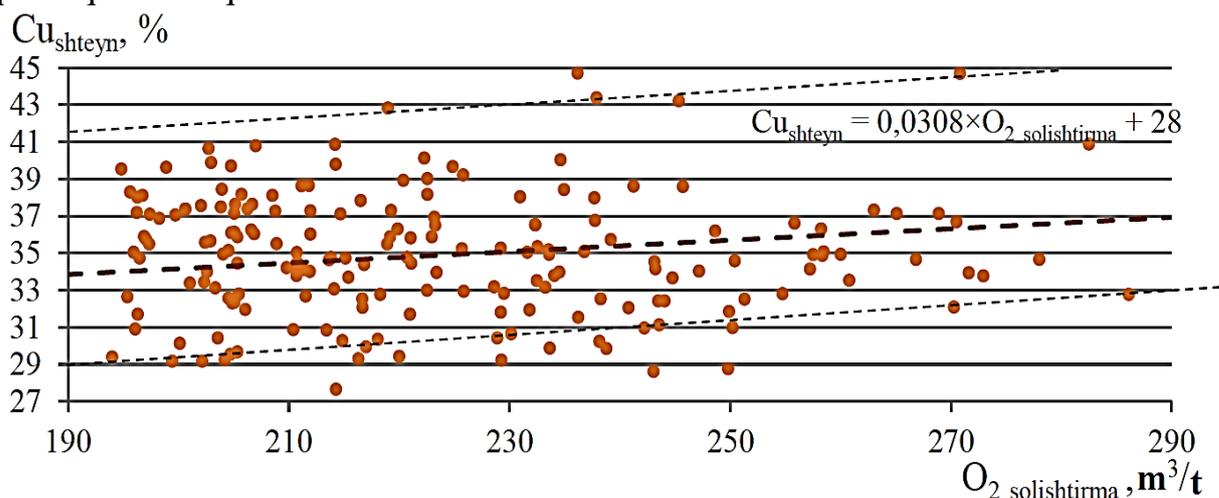
3-rasm. Shlakdagi mis tarkibining shteyn tarkibidagi misga bog‘liqligi.



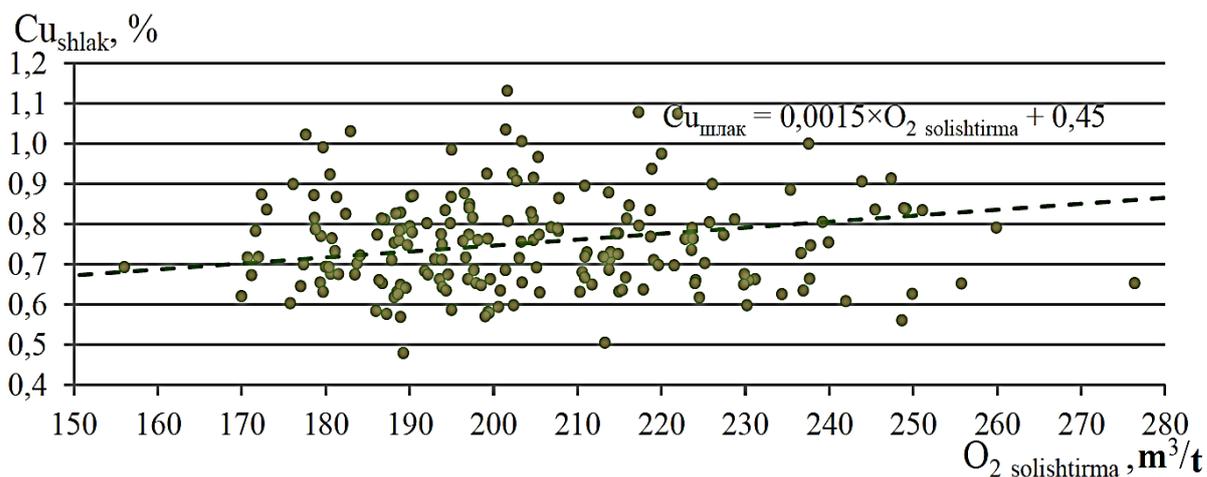
3-rasm. Shlakdagi misning shteynga bog'liqligi [Cu] = f (Cu)

Shteyn tarkibidagi mis tarkibining yuqori chegarasi misning shlakda eruvchanligi bilan, pastki chegarasi esa konvertor shlakining chiqishi bilan cheklanadi. Shteyn tarkibidagi mis tarkibining ko‘payishi bilan uning shlakda eruvchanligi mos ravishda oshadi va mis tarkibi past shteynni qayta ishlash konvertor shlakining hosildorligini oshiradi (2-4% Cu, 4-10 g/t Au gacha, 50-200 g/t Ag va boshqa qimmatli komponentlar), bu qo‘shimcha qayta ishlash talab

qiladi. Ushbu omillarni hisobga olgan holda, mis miqdori 40-45% bo‘lgan shteynni qabul qilish maqbuldir.



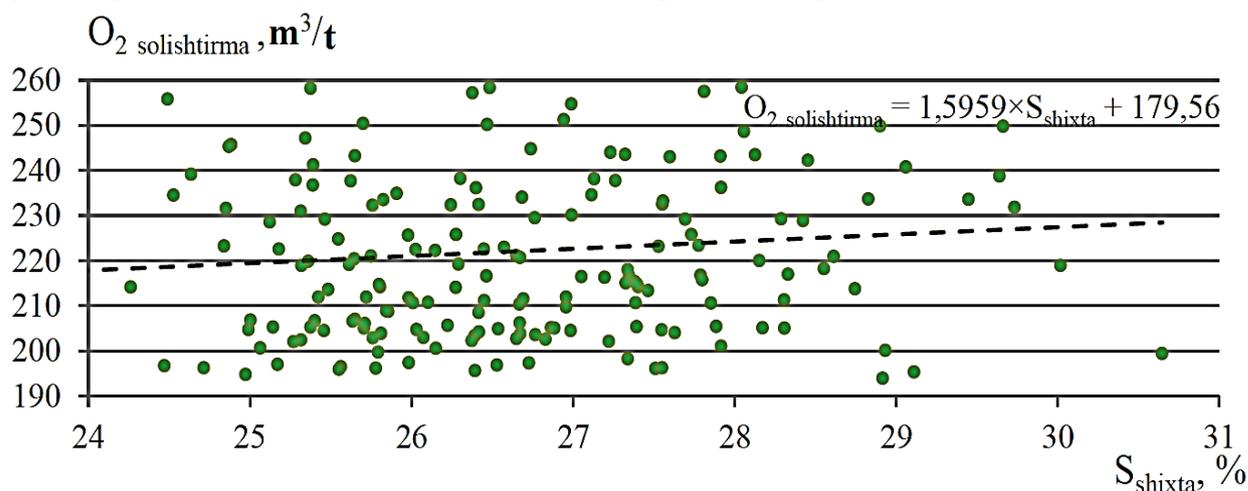
4-rasm. Shteyndagi mis miqdorining kislorod solishtirma sarfiga bog‘liqligi
m³/t



5-rasm. Shlakdagi mis miqdorining kislorod solishtirma sarfiga bog‘liqligi
m³/t

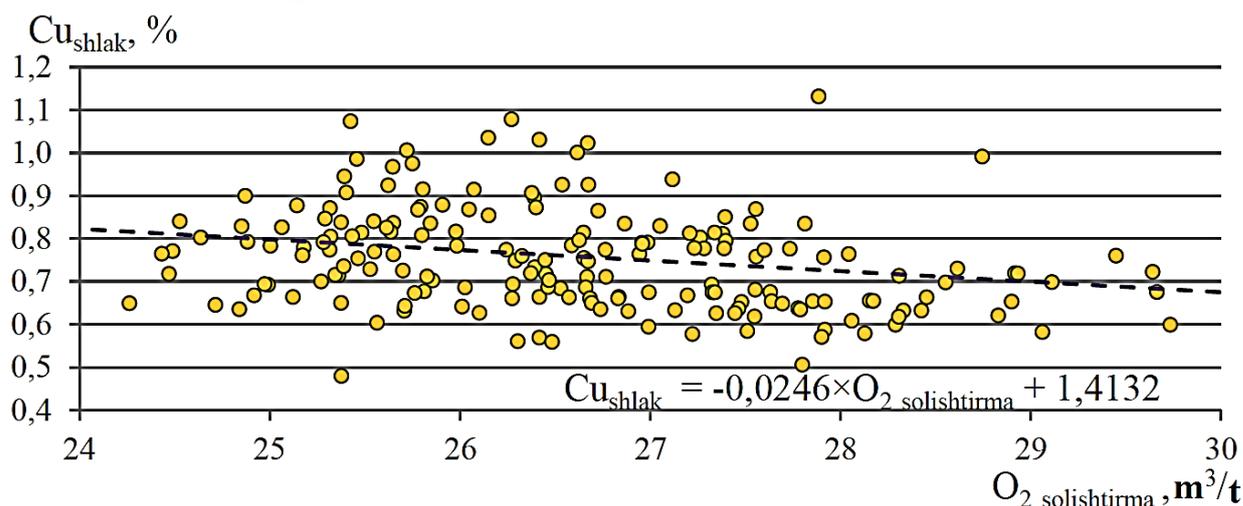
Shixtaning termofizik xususiyatlarini, xususan unga issiqlik sarfini tavsiflovchi Yu.Kupryakov ma’lumotlari shteyn tarkibidagi misga bog‘liqligini ta’kidlaydi. Bu yondashuvni oraliq ma’lumot deb hisoblash mumkin, chunki shixtaning issiqlik iste’moli boyitma sulfidlarining oksidlanish darajasiga bog‘liq. Shixtaning minimal issiqlik ajratish ko‘rsatgichi bo‘lsa ham, jarayonning avtogenligiga desulfurizatsiya darajasini oshirish orqali erishish mumkin, chunki sulfidlar avtogen erish paytida issiqlikning asosiy manbai hisoblanadi. Amalda, jarayonning avtogenligiga oksidlanish darajasini o‘zgartirish orqali erishiladi, bu esa o‘z navbatida shteynning tarkibini aniqlaydi (3- va 5-rasmga qarang). 5-rasmda kislorod iste’molining shixtadagi oltingugurt tarkibiga giperbolik bog‘liqligi ko‘rsatilgan. Oltingugurt miqdori 23% dan pastga tushganda, texnik kislorodning o‘ziga xos iste’molining keskin o‘sishi issiqlik rejimining buzilishi, birinchi navbatda pechdagi haroratning pasayishi bilan belgilanadi.

“Olmaliq KMK” AJ kislorod mash’ala eritish pechida shixtaning avtogen erishi uchun o‘rtacha tarkib, %: Cu-11,98; SiO₂-17,26; S-25,14; Fe-42,52; Al₂O₃-2,1; CaO-1, desulfurizatsiya darajasi o‘rtacha 75,5% bo‘ladi. Optimal jarayonda shteyndagi mis tarkibi 45% ni tashkil qiladi va shlakda uni 0,5% gacha kamaytirish mumkin. Ushbu shixtani qayta ishlashning issiqlik balansini tahlil qilish shuni ko‘rsatadiki, issiqlik yetishmasligi bir tonna qayta ishlangan shixta uchun taxminan 5,8×10⁹ J ni tashkil qiladi. Bu shuni anglatadiki, shixta tarkibini o‘rtacha hisoblash uchun Bedding tizimidan foydalangan holda ham, jarayonga yuqori harorat ajratadigan xom ashyolarni kiritmasdan barqaror erishga erishish mumkin emas.



6-rasm. Shixtadagi oltingugurt tarkibiga qarab solishtirma kislorod sarfining o‘zgarishi.

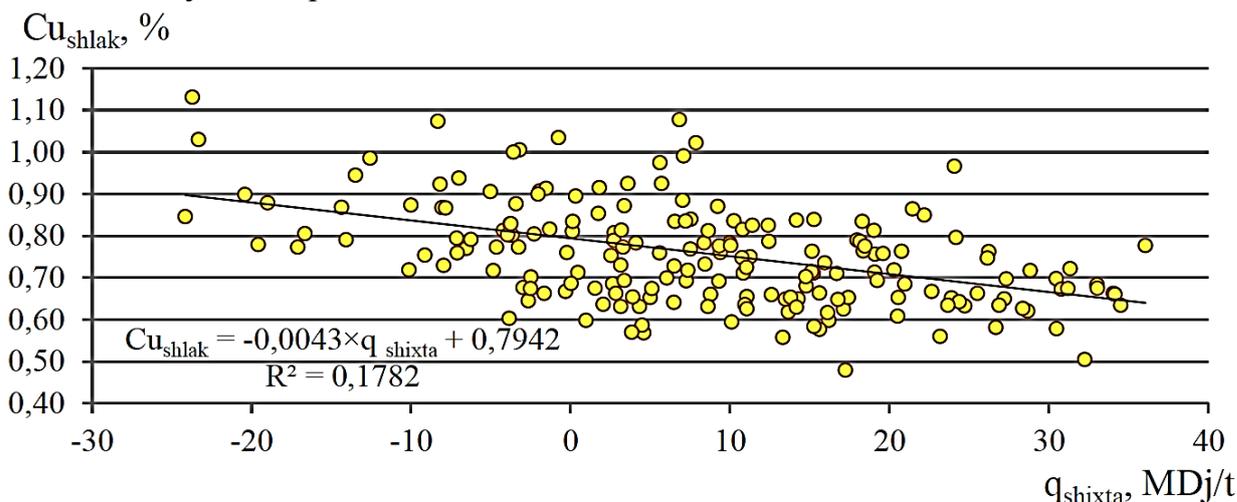
Yuqorida berilgan diagrammalar (3-6-rasmlar) shuni ko‘rsatadiki, amalda issiqlik rejimining buzilishi "shixta:kislorod" nisbati, futerovka yemirilishi va kessonlar "yonish"iga olib keladi.



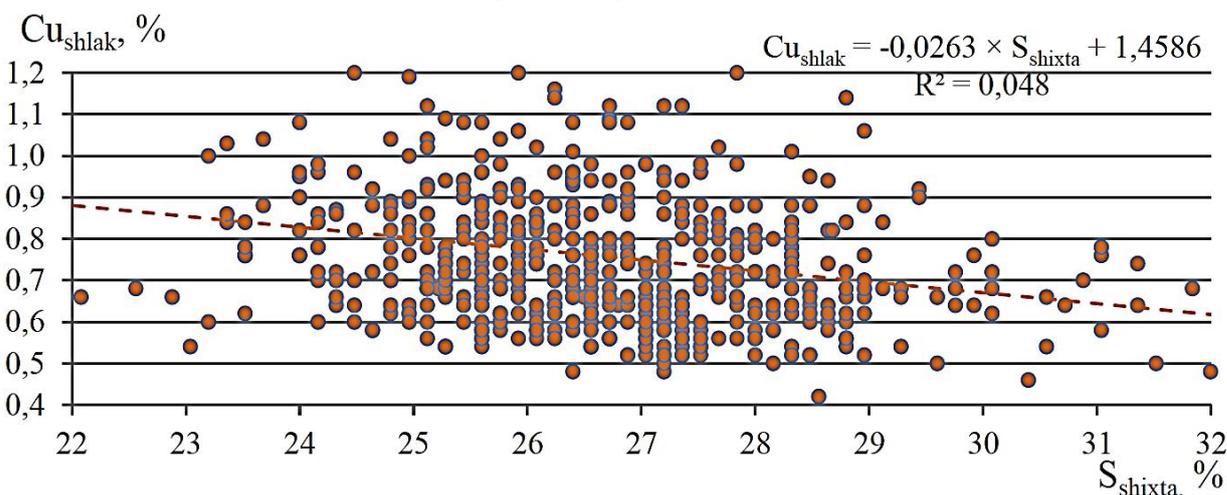
7-rasm. Shlakdagi mis miqdorining qayta ishlangan shixtadagi oltingugurt tarkibiga bog‘liqligi, %.

Bunday vaziyatda issiqlik balansining buzilishiga qarab mis yo‘qotishlarini tavsiflovchi (6-rasm.) va shixta asosiy issiqlik manbai tarkibi – oltingugurt (7-rasm). diagrammalarni qurishni o‘rinli deb hisoblanadi.

Zavod ma'lumotlarini tahlil qilib, quyidagi xulosalar chiqarish mumkin: shixtadagi oltingugurt miqdori ortishi bilan (shixtaning issiqlik chiqishi) kislorodning solishtirma sarfi kamayadi (giperbola bo'yicha), bu pechdagi harorat rejimi bilan belgilanadi. Diagrammalarga asoslanib, ishonch bilan aytish mumkinki, shixta bilan birga temir sulfidning oksidlanishi va uning shlaklanishi uchun nazariy jihatdan zarur bo'lgan kislorod miqdorini yetkazib berish kerak va harorat boshqa usul bilan tartibga solinadi. Faqatgina ushbu eritish rejimi bilan magnetit va mis oksidi hosil bo'lishining oldini olish mumkin, shu bilan shlakdagi erigan mis miqdorini kamayadi. Sulfid suspenziyasining shakllanishi qaytaruvchi muhiti kamayishi orqali hosil bo'ladi.



8-rasm. Shlakdagi mis miqdorining (%) pechning issiqlik balansiga bog'liqligi (shixtaning issiqlik chiqarish ko'rsatgichi MJ/t)



9-rasm. Shlakdagi misning (%) qayta ishlanadigan shixtadagi oltingugurt miqdoriga (%) bog'liqligi

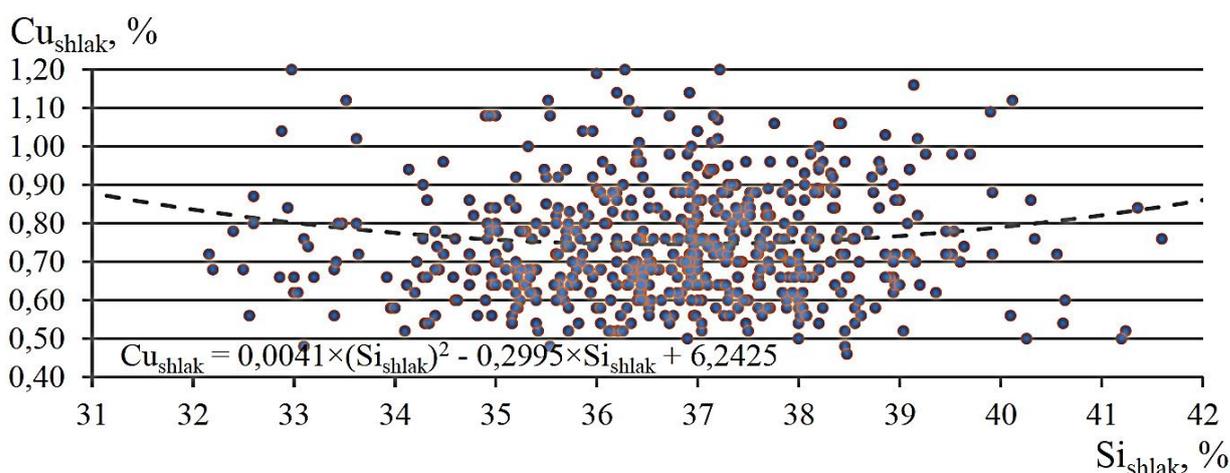
Optimal eritish rejimini aniqlash uchun laboratoriya sharoitida bir xil tarkibdagi boyitmalar (A, B, C va D smenalari) eritildi. Ammo kislorod ta'minoti va pechdagi harorat hisob-kitoblar asosida bajarildi.

Misol uchun, A smenda shixtani (Cu – 13,94%; Fe – 42,78%; CaO – 1%; SiO_2 – 16,34%; S – 23,84%) eritishda kislorod sarfi mis 45%li shteynni hisoblash orqali aniqlandi, bu sharoitda nazariy jihatdan desulfurizatsiya darajasi 75%

bo‘lishi kerak. Ushbu shixta tarkibi uchun zarur bo‘lgan kislorod sarfi 179,81 m³/t ni tashkil qiladi. Pechdagi haroratni ta‘minlab turish uchun shixtaning har bir tonnasiga 19,17 m³ miqdorida tabiiy gaz jarayonga kiritildi. Tarkibida Cu – 45,0%; Fe – 29,3%; S – 23,84% li shteyn olingan. Chiqindi shlaklar tarkibidagi mis 0,44% ni tashkil qiladi.

B smenasida shixta eritish uchun texnik kislorod sarfi 280,59 t/m³ ga va tabiiy gaz sarfi bir tonna shixta uchun 96,6 m³ ni tashkil yetdi.

C va D smenalarida shixtani eritishda texnik kislorod sarfi mos ravishda 186,88 va 211,29 t/m³ ni tashkil yetdi. Tabiiy gaz sarfi talab qilinmadi, aksincha, ortiqcha issiqlik kessonlar yordamida chiqarildi.



10-rasm. Shlakdagi kremniy oksidi va mis miqdoridagi bog‘liqlik, %

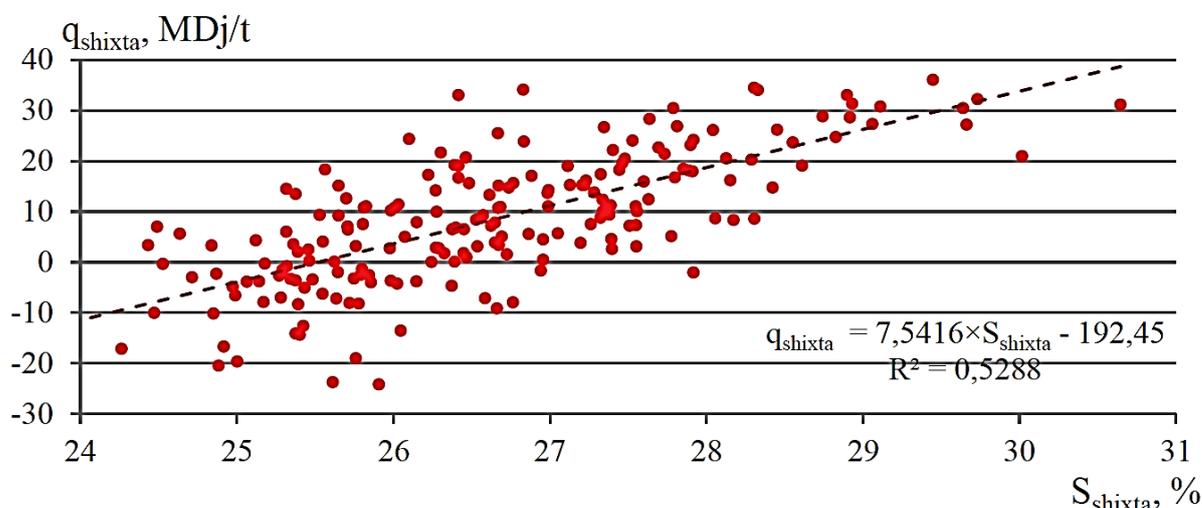
2-jadval

Laboratoriya sinovlari natijalari

Eritish	Shixta va eritish mahsulotlar	Tarkib, %					Eritma, kg	Kerakli O ₂ (l/kg)	Issiqlik balansi, J/kg	Tabiiy gaz sarfi, m ³ /t
		Cu	FeO	CaO	SiO ₂	S				
A	Shixta	13,94			16,34	23,84	1	144,65 (269)	-6579,6	19,17
	Shteyn	45,0				23,7				
	Shlak	0,44	50,37	1,49	37,13	0,43				
B	Shixta	12,56			25,32	18,88	1	198,56 (736,4)	-33166,2	96,6
	Shteyn	45,0				23,7				
	Shlak	0,35	57,39	1,42	35,65	0,35				
C	Shixta	10,59			13,24	30,40	1	218,43 (147,55)	+19695,16	-
	Shteyn	45,0				23,7				
	Shlak	0,49	45,24	1,48	37,7	0,492				
D	Shixta	9,26			16,84	28,64	1	243,85 (530,6)	+4260,48	-
	Shteyn	45,0				23,7				
	Shlak	0,45	47,8	1,43	36,16	0,454				

Ajratib olish ko'rsatgichi o'rtacha 97,0% ga teng. Tarkibi doimiy bo'lgan shteynning ajralib chiqish miqdori faqat boyitmadagi mis tarkibiga bog'liq. Shlakdagi mis miqdori 0,5% dan oshmadi. Kislorod mash'ala eritish pechida ishlab chiqarish sharoitida mis miqdori past shlaklarni olishning iloji yo'q. Shuning uchun pechdan tashqarida shlaklardagi misni kamaytirishni tashkil qilish maqsadga muvofiqdir.

Tuzilgan dastur nafaqat zarur bo'lgan kislorod miqdorini aniqlashga, balki ma'lum bir shixta uchun ma'lum bir tarkibdagi shteynda eritish paytida issiqlik balansini hisoblash imkonini ham beradi. Natijalarning aniqligi boyitma va oqimlarning tarkibi va dozasining aniqligiga bog'liq.



11-rasm. Issiqlik balansining (shixtaning issiqlik ajratish ko'rsatgichi MJ/t) shixtadagi oltingugurt tarkibiga bog'liqligi

Issiqlik balansining shixtadagi oltingugurt miqdoriga to'g'ridan-to'g'ri proporsional bog'liqligi, oltingugurt shixtadagi issiqlikning asosiy manbai ekanligini tasdiqlaydi. Shixtadagi oltingugurtning optimal miqdori 24-26% ni tashkil qiladi, amalda ishlab turgan korxonalarda uning tarkibi kamayadi. Oltingugurt miqdori balandligi pechning ishlash unumdorligiga salbiy ta'sir qiladi. Amalda, unumdorlik pechga yuklanmaning ortishi bilan tartibga solinadi, ya'ni, tayyor mahsulot (boyitma)dagi mis miqdori kamayadi. Natijada mexanik yo'qotishlar ko'payadi va mis miqdori past shteynni qayta ishlash konvertor shlagi miqdorini oshiradi.

Ushbu muammoni hal qilish uchun takliflar:

1. Shixtaning issiqlik ajratish ko'rsatgichining pasayishini shixtaning aniq tarkibi balansini hisoblash orqali aniqlash. Issiqlik hosil qiluvchi mis tarkibli materillar qo'shilishini hisobga olgan holda moddiy va issiqlik balanslarini qayta hisoblash.

2. Issiqlik ajralishi ko'tarilsa (oltingugurt miqdori 24-26% dan oshganida), issiqlik yutuvchi xom ashyolarni qo'shish. Buning uchun pechda qaytaruvchi muhitini hosil qilgan holda, maydalangan qattiq konverter va misga boy kislorod mash'ala eritish pechi shlaklarini qayta ishlash taklif etiladi.

XULOSA

“Kislorod mash’ala eritish pechida sulfidli mis boyitmalarini qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish” nomli falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi natijalar olindi va xulosalar qilindi:

1. Sulfidli mis boyitmalarini kislorod mash’ala pechida eritish, erish mahsulotlari kimyoviy tarkiblarining shlak fizik-kimyoviy xossalariga ta’siri, shlak va shteynning ajralish miqdoriga kislorodning solishtirma sarfining bog‘liqligi, issiqlik hosil qiluvchi va issiqlik yutuvchi xom ashyolar orqali haroratni nazorat qilish imkoniyatlari o‘rganildi. Bu pechning misga boy shteynda ishlashi, sulfidli minerallarning oksidlanishidagi issiqligidan maksimal mahsuldorlikni va samarali foydalanish imkonini berdi.

2. Kislorod mash’ala pechiga texnik kislorod berishdan oldin shixta tarkibiga kremniy asosli xom ashyo qo‘shib yuklash texnologiyasi ishlab chiqildi. Natijada eritmada hosil bo‘ladigan magnetitning miqdori pasaytirilib, shlakda misning yo‘qolishini 0,3-0,5% ga kamaytirishga erishildi.

3. Kislorod mash’ala pechiga maxsus gorelkalar orqali shixta va texnik kislorodni berish burchagini oqimlar o‘zgarishiga va shunga mos ravishda maksimal harorat zonalarining siljishiga qarab 26 dan 30 gradusga o‘zgartirish texnologiyasi ishlab chiqildi. Ishlab chiqilgan texnologiya sulfidli mis boyitmasini gaz fazasida bo‘lish vaqtini kamayish, pech futerovkasini tez yemirilishini oldini olish hamda shixta tarkibidagi asosiy komponentlarning gaz bilan yuqolishini 4-5 %ga kamaytirish imkonini berdi.

4. Sulfidli mis boyitmalarini kislorod mash’ala pechida eritishda kislorodni berish ko‘rsatkichini o‘zgartirish orqali pechdagi issiqlik harakatlanish tartibini boshqarish texnologiyasi ishlab chiqildi. Bu shlakning o‘ta oksidlanishi va ko‘pik hosil bo‘lish jarayonini kamaytirish hamda shteynga misning o‘tish darajasini 94,0-95,0% ga oshirish imkonini berdi.

5. Sulfidli mis boyitmalarini kislorod mash’ala pechida eritish rejimlarini texnik-iqtisodiy taqqoslashga asoslangan eng samarali ko‘rsatgichlar ishlab chiqildi. Bu pech majmuasi qurilmalarini o‘zgartirishga, tahlil natijalari uchun onlayn analizorni ta’minlovchi liniyalar bunkerlariga o‘rnatish va tahlil natijalarini rejimlarni hisoblash programmasiga yetkazishga xizmat qildi.

6. Tadqiqotlar natijalari asosida shixta tarkibini rostdash imkonini beradigan matematik dastur yaratildi. Ushbu dastur operatsion xodimlarga xom ashyoning dastlabki tarkibini kiritish orqali jihozning ishlashini nazorat qilish imkonini berdi.

7. Shlaklarni pechdan tashqarida “kovsh” (cho‘mich) larda sekin sovitish orqali qayta ishlash texnologiyasi takomillashtirildi. Bu issiqlik energiyasi mayda mis va uning sulfidlari zarralari (5-10 mikrondan 50-70 mikrongacha) koagulyatsiyasi sodir bo‘lishi va ularni flotatsiya usuli bilan boyitmaga o‘tkazishga xizmat qiladi.

8. Sulfidli mis boyitmalarini kislorod-mash’ala pechida eritish jarayonini takomillashtirib, shlakdagi misning miqdorini 0,3 – 0,5% ga kamaytirish, shteyndagi misning miqdorini 40-45% da muqobil ta’minlash hamda pech devorlari olovbardosh g‘ishtlarini tez yemirilishini oldini olish hisobiga yiliga 702 760 950 (yetti yuz ikki million yetti yuz oltmish ming to‘qqiz yuz ellik) so‘m iqtisodiy samaraga erishildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc. 03/30.12.2019.Т.03.04 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

САЙНАЗАРОВ АБДУКАХХАР МАТИБРАГИМОВИЧ

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ
СУЛЬФИДНЫХ МЕДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ В ПЕЧАХ
КИСЛОРОДНО-ФАКЕЛЬНОЙ ПЛАВКИ**

**05.02.01 – Материаловедение в машиностроении. Литейное производство.
Термическая обработка и обработка металлов давлением. Металлургия черных,
цветных и редких металлов. Технология редких, благородных и радиоактивных
элементов (по направлению литейного производства и технологии обработки
металлов)**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам**

ТАШКЕНТ – 2024

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан под номером В2022.2.PhD/T2855

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу (www.tdtu.uz) и информационно-образовательном портале «Ziyonet» по адресу (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель: **Маткаримов Сохибжон Турдалиевич**
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Норхуджаев Файзулла Рамазонович**
доктор технических наук, профессор

Толибов Бехзод Иброхимович
доктор технических наук, доцент

Ведущая организация: **Алмалыкского филиала НИТУ МИСиС**

Защита диссертации состоится “10” февраля 2024 г. в 11⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.04 при Ташкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г. Ташкент, Алмазарский район, ул. Университетская, 2. Тел./факс:(99871) 227-10-32, e-mail: (tadqiqotchi@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрирована за № 328) (Адрес: 100095, г. Ташкент, Алмазарский район, ул. Университетская, 2. Тел./факс: (99871) 227-10-32).

Автореферат диссертации разослан “29” января 2024 года.
(реестр протокол рассылки «174 от “29” января 2024 года).



ВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Страны по всему миру принимают цели по достижению нулевых выбросов к 2050 году, что приведёт к появлению технологий, имеющих большую потребность в меди, т.е. с развитием зелёной энергетики растёт спрос на медь, в связи с чем актуальным становится поиск эффективных технологий, позволяющих максимально извлечь меди из сырья. В мировой медеплавильной промышленности, особое внимание уделяется комплексной переработке сульфидных медных концентратов с применением энергосберегающих технологий. Наряду с этим, разработка эффективной технологии переработки сульфидных медных концентратов в печи кислородно-факельной плавки, обеспечивающая минимальные потери цветных металлов и максимальное извлечение их в черновую медь, является одной из важнейших задач. В этой связи, в научных центрах стран-экспортёров медного сырья (Чили, Перу, Австралия, Канада) и особенно импортёров сырья (Китай, Япония, Корея, Швеция, США, Германия, Испания, Россия, Турция) уделяется особое внимание эффективной переработке сульфидных медных концентратов.

В мире условиях рыночной экономики, особенно при закупе сырья из других стран существенно возрастает роль инноваций, внедрение которых способствует повышению конкурентоспособности продукции, снижению её себестоимости и энергоёмкости, притоку частных инвестиций, открытию новых рынков и возможностей. В настоящее время при переработке медного концентрата регулирование режимных параметров плавки осуществляют, варьируя производительностью агрегата по проплавленной шихте, её составом и содержанием меди в штейне. Изменение производительности кислородно-факельной печи (КФП) и/или простаивание агрегата является причиной изменения загруженности следующих по технологической цепочке агрегатов (конверторов, печей огневого рафинирования, сернокислотного и электролизного цехов).

В настоящее время в республике рост цен на энергоносители и увеличение себестоимости добычи минерального сырья, а также экологические проблемы вокруг крупных промышленных предприятий ставят задачу разработки безотходных и энергосберегающих технологий. Это объясняет факт, что более 60% черновой меди производится с применением факельной плавки. В связи с этим, тема диссертации, посвящённая усовершенствованию технологии переработки сульфидных медных концентратов в печах кислородно-факельной плавки концентратов, представляет собой несомненную актуальность.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы» и в Постановлениях Президента Республики Узбекистан от 27 апреля 2018 года №ПП-3682 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей,

технологий и проектов», от 17 января 2019 года №ПП-4124 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности предприятий горно-металлургической промышленности», от 24 июня 2021 года №ПП-5159 «О дополнительных мерах по развитию горно-металлургической промышленности и смежных отраслей», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования основным приоритетным направлениям развития науки и технологий в республике. Исследования, выполненные в рамках диссертационной работы соответствуют приоритетным направлениям развития науки и технологий республики II «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Учёными многих стран мира выполнены множество исследований по разработке эффективной технологии переработки сульфидных медных концентратов в металлургических печах. Ведущие ученые мира F.Nabashi, K.Rotuska, T.Chmielewski, K.McQueen, D.Giurco, M.Stewart, J.Petrie, Wei Wang, Jinzhong Lu проводили научно-исследовательские работы по определению оптимальных параметров плавки сульфидных медных концентратов в кислородно-факельной печи. В результате этих исследований было достигнуто повышение производительности кислородно-факельной печи. P.Amelunxen, R.Amelunxen, M.Bernardgies, A.Burrows, J.Joven, B.Hiskey и N.Hogan разработали разные способы при переработке шлаков медного производства, в результате этого было достигнуто повышение извлечения металлов в готовую продукцию.

Ученые СНГ такие как: С.Кожаметов, Н.Досмухамедов, М.Дюссебекова, Л.Соколовская, Г.Карамырзаев, В.Роцин, А.Лыкасов, И.Бородин, А. Фёдоров, А. Комков детально исследовали причины образования компонентов, способствующих увеличению потерь меди при переработке сульфидных медных концентратов в плавильных печах, в результате был разработаны методики по уменьшению образования этих веществ. Ванюков А., Зайцев В., Тарасов А., Купряков Ю., Быстров В., Каплан В. применили восстановительные элементы такие, как кокс, уголь, пирит в технологические процессы выплавки медного сырья и достигли изменений в теплотехнических режимах плавильных печей.

Узбекские ученый Юсупходжаев А.А. разработал технологию по снижению потерь меди с отвальными шлаками на 20% за счёт переработки конвертерных шлаков медного производства с клинкером цинкового производства. Хасанов А.С. разработал термогравитационный метод переработки шлаков медного производства в жидком состоянии. В своей монографии, посвящённой научно-техническим основам переработки отходов горно-металлургического производства, Санакулов К.С. рассмотрел несколько вариантов обеднения шлаков АГМК, с сопоставлением аналогичных показателей заводов Японии, Германии и стран латинской Америки. В результате обосновано выбрана и внедрена технология

отдельной флотационной переработки шлаков МПЗ на одной секции обогатительной фабрики. Иной подход был предложен Самадовым А.У. – разложение фаялитной структуры шлака применением аммония фторида, с выделением кремния и последующее выщелачиванием меди.

Не смотря на множество имеющихся научных достижений в области переработки сульфидных медных концентратов в кислородно-факельной печи, имеются много проблем, не нашедших своего решения. В частности, не разработана безотходная технология переработки сульфидных медных концентратов. Для определения решения проблем, приведённых выше и разработке технологии, необходимо проведение исследований по определению основных факторов, влияющих на потери меди в шлаках, исследование физико-химических свойств шлака и определение оптимальных параметров плавки сульфидных медных концентратов в кислородно-факельной печи.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего учебного учреждения, где выполняется диссертация.

Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Ташкентского государственного технического университета в рамках прикладного проекта ОТ-А13-02 «Технология снижения безвозвратных потерь меди с отвальными шлаками и организация малоотходного производства» (2017-2018 г.), а также №63-172 юр х/д 5/20 «Анализ определения вещественного состава редких, рассеянных, ценных, цветных и черных металлов в техногенной продукции АО «Алмалыкский ГМК» (2020 г.).

Цель исследования является разработка эффективной технологии переработки сульфидных медных концентратов в печи кислородно-факельной плавки, обеспечивающей минимальные потери цветных металлов и максимальное извлечение их в черновую медь.

Задачи исследования:

определение факторов, влияющих на потери ценных компонентов с отвальными шлаками и их выражение;

исследование влияния химического состава продуктов плавки на физико-химические свойства шлака;

разработка технологии добавления кварцсодержащих материалов в шихту перед подачей технического кислорода, с обеспечением нужного содержания диоксида кремния (SiO_2) в получаемом шлаке;

разработать формулы расчета оптимальных параметров плавки сульфидных медных концентратов в кислородно-факельной печи, обеспечивающее минимальное содержание меди в шлаках;

разработать формулы расчета условий стабилизации производительности печи КФП;

разработка технологии управления порядком теплового движения в печи с изменением показателя подачи кислорода;

совершенствование технологии переработки шлаков путём их медленного охлаждения в ковшах вне печи.

Объект исследования. Объектами исследования диссертационной работы являются: действующая технология, перерабатываемые материалы, продукты и параметры кислородно-факельной плавки сульфидных медных концентратов.

Предмет исследования является обеспечение минимальных потерь меди со шлаком при переработке сульфидных медных концентратов в печи кислородно-факельной плавки, а также совершенствование технологии повышения эффективности производства меди.

Методы исследования. В процессе исследования использовались современные теоретические и прикладные комплексные методы исследования (статистический анализ производственных данных с построением диаграмм зависимостей), лабораторные, полупромышленные и промышленные эксперименты, анализ химического и вещественного состава, физико-механические, химические и физико-химические методы исследований (ИК-спектроскопия, электронная микроскопия, XRD, SEM), термодинамическое моделирование с помощью термохимического пакета программ MTDATA.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

был разработан метод переработки сульфидных медных концентратов с использованием кварцевых соединений для уменьшения количества магнетита, затрудняющего извлечение меди;

разработана технология сокращения времени пребывания сероводорода в газовой фазе за счёт изменения угла подачи шихты и технического кислорода через специальные горелки в печь кислородно-факельной плавки, а также снижения потерь основных компонентов шихты с отходящими газами на 4-5%;

установлено, что основным фактором, влияющим на содержание меди в шлаках, является нарушение теплового режима в печи и колебание удельного расхода кислорода относительно теоретически необходимого;

разработана компьютерная программа расчёта оптимальных режимов ведения процесса кислородно-факельной плавки в зависимости от состава перерабатываемой шихты;

усовершенствована технология охлаждения шлаков вне печи в ковше, за счёт их медленного охлаждения на основе динамики коагуляции мелких частиц меди и её сульфидов размером от 5-10 мкм до 50-70 мкм под действием тепловой энергии.

Практические результаты исследования:

разработаны оптимальные технологические условия эффективной работы печи кислородно-факельной плавки;

оптимизированы основные закономерности изменения состава продуктов плавки в соответствии с удельным расходом кислорода;

доказана целесообразность расчёта константы равновесия, изменения энтальпии, энтропии и энергии Гипса, а также возможность вычисления

свободной энергии и скорости реакций при различных температурах в системе «шлак-штейн» при плавлении шихты;

разработаны оптимальные режимы теплоплавки, обеспечивающие максимальную эффективность агрегата, т.е. увеличится срок службы огнеупорной кладки, охлаждающих кессонов и стабильной работы печи.

Достоверность полученных результатов. Обобщенные теоретические выводы, отраженные в заключении исследования, многообразие экспериментальных исследований, проведенных при переработке сульфидных медных концентратов в печи кислородно-факельной плавки, и обработка полученных результатов на основе математических расчетов, химический анализ меди, железа, серы, кремния и других компонентов в шлаке, показатели физико-химических свойств, выявленные на основе применения современных методов и технологий, научно и практически изложены путём сравнения с экспериментальными результатами.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования объясняется тем, что для усовершенствования технологии переработки сульфидных медных концентратов в печах кислородно-факельной плавки исследованы физико-химические свойства шлако-штейновых систем, а также выявлены основные факторы, влияющих на потери ценных компонентов с отвальными шлаками, объясняется проведением исследования влияния химического состава растворённых продуктов на физико-химические свойства шлака.

Практическая значимость результатов исследований заключается в том, что для обеспечения необходимого содержания диоксида кремния (SiO_2) в шлаке, в шихту перед подачей технического кислорода в печи кислородно-факельной плавки добавляют кварцсодержащее сырьё, определяют оптимальные режимы плавки сульфидных медных концентратов и тем самым снижают содержание меди в отвальных шлаках до минимума; стабилизируют производительность печи кислородно-факельной плавильной, а также разработка технологии управления режимом тепловых потоков в печи путём изменения параметров подачи кислорода в печь, стабильное снабжения горелок шихтой, поддержания зоны окисления сульфидов под аптейком печи и равномерного нагрева продуктов в ней обеспечение эффективности работы агрегатов и увеличением срока службы огнеупорной кладки.

Внедрение результатов исследования.

На основании полученных результатов по усовершенствованию технологии переработки сульфидных медных концентратов в печах кислородно-факельной плавки достигнуто следующее:

технология перед подачей технического кислорода в кислородно-факельную печь загрузки путём добавления в состав шлака сырья на основе кремния внедрена на медеплавильном заводе АО «Алмалыкский ГМК». (справка № СЛ-0456 АО «АГМК» от 05 апреля 2023 года). В результате

количество образующегося в расплаве магнетита уменьшилось, а потери меди в шлаке уменьшились на 0,3-0,5%.

технология изменения угла подачи твёрдого сырья и технического кислорода с 26° до 30° градусов через специальные горелки в кислородно-факельной печи внедрена на медеплавильном заводе АО «Алмалыкский ГМК» (справка № СЛ-0456 АО «АГМК» от 05 апреля 2023 года). В результате удалось сократить время обогащения сульфидной меди в газовой фазе, предотвратить быстрый износ футеровки печи, снизить потери основных компонентов в шлаках на 4-5%.

технология управления порядком движения тепла в печи путём изменения скорости подачи кислорода при плавке сульфидных медных концентратов в кислородно-факельной печи внедрена на медеплавильном заводе АО «Алмалыкский ГМК» (справка № СЛ-0456 АО «АГМК» от 05 апреля 2023 года). В результате уменьшился процесс пенообразования в шлаке и увеличилась скорость перехода меди в штейн до 94,0-95,0 %. Экономический эффект от внедрения составил 702 760 950 (семьсот два миллиона семьсот шестьдесят тысяч девятьсот пятьдесят) сумов.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и получили одобрение на 5 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликованы 18 научных работ. Из них 5 статьи в республиканских и 3 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов. Имеется патент на изобретение №IAP 04663 «Способ плавки сульфидных медных концентратов в печи кислородно-факельной плавки».

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и востребованность проведенного исследования, его цель и задачи, характеризуются его объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики Узбекистан, излагаются научная новизна и практическая значимость полученных результатов, даются сведения о опубликованных работах по результатам исследования и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Современное состояние технологии производства меди**» проведён обзор работ, посвящённых исследованиям существующим технологиям переработки сульфидных медных концентратов в печи кислородно-факельной плавки, процессов шлакообразования, физико-химических свойствах шлака, а также, современное состояние по их решению данных проблем.

Изучены и проанализированы проведённые исследовательские работы зарубежных и республиканских учёных в области технологии переработки сульфидных медных концентратов в металлургических печах.

Доказано, что проблема эффективной технологии кислородно-факельной плавки сульфидных медных концентратов путём сушки сырья, высокого проплава, получения штейна с максимальным содержанием ценных компонентов и шлака бедных по содержанию, с последующей утилизацией шлаков, которая решается в диссертационной работе изучена не в достаточной степени.

Во второй главе диссертации **«Методика внедрения переработки сульфидных медных концентратов в печах КФП и выбор объектов исследования»** приведены выбор объекта исследования, основные физический и химический свойства используемых материалов, а также представлены сведения по использованию современных физико-механических, химических и физико-химических методов и аппаратуры для исследования свойств материалов (ИК-спектроскопия, электронная микроскопия, XRD, SEM), прикладных методов (статистический анализ производственных данных с построением диаграмм зависимостей), термодинамическое моделирование с помощью термохимического пакета программ MTDATA.

В качестве объекта исследований были выбраны действующая технология, перерабатываемые материалы, продукты и параметры кислородно-факельной плавки сульфидных медных концентратов.

С целью упрощения расчётов составлена программа расчёта кислородно-факельной плавки, автоматически рассчитывающая материальный и тепловой баланс для перерабатываемого состава шихты. Анализируя результаты расчёта, программа определяет оптимальные параметры плавки (удельный расход технического кислорода; состав получаемого при данных параметрах шлака и штейна; необходимость и количество топлива).

Третья глава диссертации **«Исследования технологии кислородно-факельной плавки сульфидных медных концентратов»** посвящена результатам исследований: исследование физико-химические свойства шлако-штейновых систем, определение равновесие в системе «шлак – штейн – газовая фаза», исследование активности компонентов в системе «медь – шлак – газовая фаза», исследование основных факторов, влияющих на потери меди со шлаками.

При автогенной плавке сульфидного медного концентрата шихта, состоящая из различных минералов (например, в простейшем случае FeS_2 , CuFeS_2 , SiO_2 , CaCO_3 , Al_2O_3 и др.), взаимодействуют с газообразным кислородом дутья при температуре $\sim 1600\text{-}1800\text{ K}$ ($1327\text{-}1527^\circ\text{C}$). В результате взаимодействия образуются штейн, состоящий в основном из сульфидов меди и железа; шлак, содержащий оксиды железа, в котором почти полностью концентрируются оксиды кремния, кальция, алюминия, не изменяющие своего стехиометрического состава, и оксиды двух- и

трёхвалентного железа, отношение концентраций которых определяется в основном парциальным давлением кислорода в системе. Газовая фаза содержит образующийся SO_2 , серу, кислород и азот.

На практике, из-за отсутствия систематизированных сведений о такой сложной многокомпонентной системе даже для упрощенного состава сырья, позволяющих точно прогнозировать составы всех равновесных фаз, металлурги рассчитывают составы штейна и шлака приближенно, исходя из состава исходных материалов и количества окислителя, поступающих в плавку, и предполагаемых взаимодействий. При этом, для моделирования процесса широко используются термодинамические расчёты химических реакций для более точного установления состава равновесных фаз.

Наиболее полные данные о термодинамических характеристиках превращений имеются для основополагающих систем.

Тройная система $\text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ исследовалась в ряде работ. На рис. 1. приведено изотермическое сечение диаграммы при 1550К. Область гомогенных шлаковых расплавов граничит с четырьмя областями, где выделяются твердые фазы: металлическое железо, вюстит, магнетит и кварц. Равновесное давление кислорода в поле диаграммы изменяется на несколько порядков - от 0,1 - 1,0 мкПа на границе насыщения расплава $\gamma\text{-Fe}$ и до 0,1 - 1,0 дПа на границе насыщения магнетитом. Содержание двух- и трехвалентного железа в шлаке связано с P_{O_2} соответствии с химической реакцией: $\text{FeO} + 1/2 \text{O}_2 = (\text{FeO}_{1,5})$.

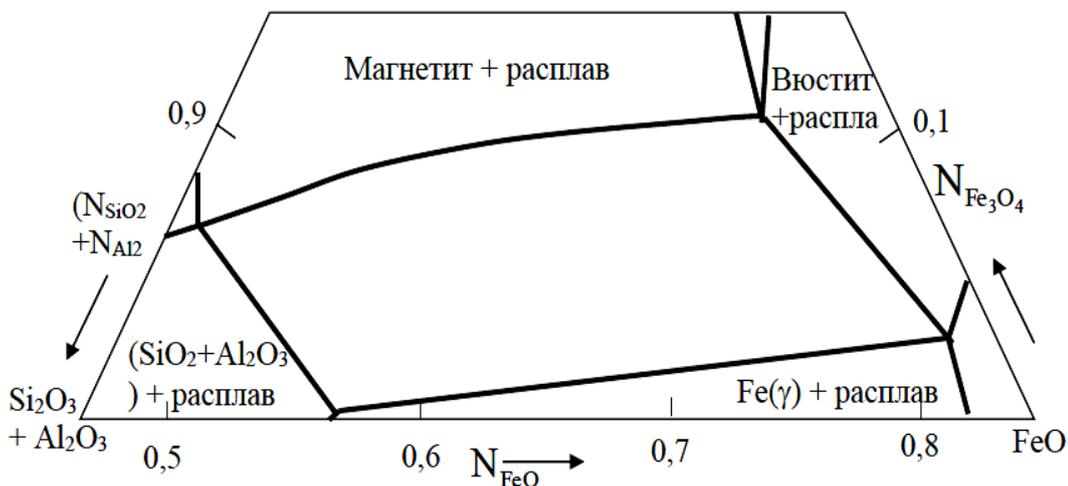


Рисунок 1. Изотермический разрез системы $\text{FeO}-\text{Fe}_3\text{O}_4-(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)$ при 1550 К (1277⁰С)

Увеличение величины приводит к сдвигу равновесия реакции вправо и соответствующему увеличению содержания Fe^{3+} в расплаве. Активности компонентов внутри области гомогенных расплавов не исследовались. Расчёт активности компонентов (FeO , Fe_3O_4 , SiO_2) вдоль границ насыщения гомогенных шлаковых расплавов твёрдыми фазами определяется интегрированием уравнения Гиббса-Дюгема в соответствующей двухфазной области.

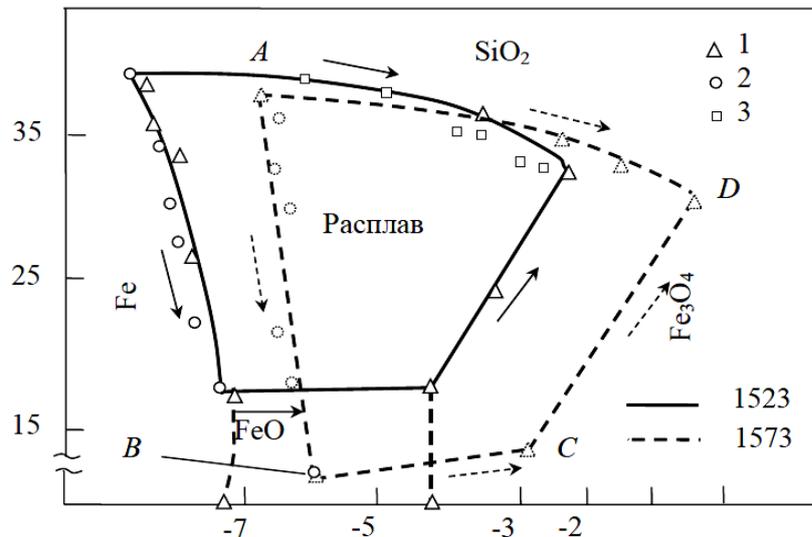


Рисунок 2. Границы области гомогенности железосиликатных шлаков при температуре 1523 и 1573К (1250-1300⁰С): 1, 2, 3 — данные различных авторов

На практике изменение состава шлака при постоянном содержании кремнезема внутри области гомогенности и при гетерогенизации определяется активностью или парциальным давлением кислорода в системе. Поэтому на рис. 2 область гомогенности шлаков в рассматриваемой системе показана в координатах (SiO₂)-lgP_{O₂}. Линии и экспериментальные точки на них указывают координаты границ области гомогенности. Химическими символами обозначены сосуществующие фазы, появляющиеся при смещении за границы гомогенного шлакового расплава.

Медь со шлаками теряется в двух формах: в растворённом виде и в виде механических потерь. Количество механических и растворённых потерь меди в шлаках кислородно-факельной плавки соотносятся как 2:3 (общие 1,40 %, из них 0,55 % - механические, 0,85 % - растворённые потери).

Основной причиной образования сульфидной взвеси в шлаках кислородно-факельной плавки является процесс сульфидирования или восстановления растворённых в шлаковом расплаве цветных металлов. Влияние этого процесса проявляется в чередовании процессов окисления – восстановления и изменении окислительного потенциала шлакового расплава. Окислительный потенциал шлака определяется концентрацией в расплаве свободных анионов O⁻², которая зависит от содержания в шлаке сильных катионов-модификаторов, прежде всего Fe³⁺, и кремнезёма. Именно окислительным потенциалом шлакового расплава определяется содержание в нём растворённой меди, а его снижением – образование тонкодисперсной сульфидной взвеси.

Конечное содержание мелкодисперсной штейновой взвеси в шлаках определяется соотношением процессов диспергирования и коалесценции. Небольшая концентрация штейновых частиц и высокая вязкость среды (шлака) определяют большую устойчивость мелкодисперсной взвеси в промышленных шлаках. Поэтому вопросы уменьшения диспергирования и улучшения коалесценции взвешенных частиц имеют принципиально важное

значение для снижения потерь меди со шлаками. Одним из главных факторов, влияющих как на образование мелкодисперсной взвеси, так и на её стабилизацию, является магнетит.

В шлаке кислородно-факельной плавки очень велико количество растворённой меди (0,85 %), что объясняется большим окислительным потенциалом (15% Fe_3O_4) и основностью шлака. Высокое содержание магнетита определяет низкое межфазное натяжение на границе раздела шлак–штейн и значительные механические потери меди (0,55 %). Количество меди, теряемое со шлаками кислородно-факельной плавки, определяется самим характером процесса, основанным на глубоком окислении сульфидов. Существенная генерация магнетита приводит к повышению растворимости сульфида меди в шлаке, а чередование процессов окисления–восстановления – к образованию тонкодисперсной сульфидной взвеси.

В четвертой главе **«Разработка эффективной технологии переработки сульфидных медных концентратов в кислородно-факельной печи»** освещены результаты апробирования и внедрения безотходной технологии переработки сталеплавильных шлаков.

Оптимальным можно считать такой режим кислородно-факельной плавки сульфидных медных концентратов, при котором наблюдаются минимальные потери ценных компонентов, минимальный пыле вынос, максимальная производительность агрегата.

Глубокий анализ производственных данных позволил устранить недостатки факельной плавки относительно других автогенных процессов и определить её оптимальные режимы.

Кислородно-факельная плавка имеет следующие недостатки:

1. Сложность регулирования температуры в печи без изменения производительности. Так как расход кислорода постоянный (кислородная станция рассчитана на определённую производительность), соотношение количества шихты и количества кислорода регулируется изменением расхода шихты. Изменение производительности кислородно-факельной печи является причиной изменения загруженности следующих по технологической цепочке агрегатов (конверторов, печей огневого рафинирования и серно-кислотного и электролизного цехов).

2. Сложность регулировать состав продуктов плавки. Шихта имеет переменный состав, поддерживая температурный режим, удельный расход кислорода изменяется в пределах 230-250 м³ на тонну шихты. В результате меняется степень десульфуризации, который определяет содержание меди как в штейне, так и шлаке [21].

3. Высокое содержание меди в шлаке. С ростом общей десульфуризации доля кислорода, поступающая в ванну с магнетитом (Fe_3O_4) и закисью меди (Cu_2O) растёт. Существенная генерация магнетита приводит к повышению растворимости сульфида меди в шлаке, а чередование процессов окисления–восстановления – к образованию тонкодисперсной сульфидной взвеси. В

конечном счёте, это приводит к образованию шлаков с высоким содержанием меди (0,7 – 1,5 %).

4. Большой унос пыли (7 – 8 % от массы перерабатываемой шихты).

5. Высокие требования к гранулометрическому и химическому составу, а также к влажности перерабатываемой шихты.

Перед нами стояла задача разработать эффективную технологию переработки сульфидных медных концентратов в кислородно-факельной печи, это достигается путём разрешения всех указанных выше проблем.

Решить первую проблему – уменьшить затраты на шихтоподготовку – невозможно. Это своеобразная плата за автогенность. Да и технология сушки шихты в трубах сушилках является надёжной и имеет высокую производительность.

Таблица 1.

Данные смен с максимальными и минимальными потерями меди

Смены	Материалы и продукты плавки	Состав, %					Проплав, тонн	удельный расход кислорода (м ³ /т)
		Cu	FeO	CaO	SiO ₂	S		
А	Шихта	13,94	42,78	1,0	16,34	23,84	275	269
	Штейн	45,34				24,5		
	Шлак	1,04	42,79	2,8	36,64	-		
В	Шихта	12,56	40,14	1,0	25,32	18,88	110	736,4
	Штейн	52,50						
	Шлак	1,33	48,88	1,04	33,50	-		
С	Шихта	10,59	42,67	1,0	13,24	30,40	715	147,55
	Штейн	24,84						
	Шлак	0,35	40,12	2,52	38,80			
D	Шихта	9,26	42,16	1,0	16,84	28,64	605	185,57
	Штейн	25,56						
	Шлак	0,54	40,46	1,73	36,46	-		

На практике процесс ведётся эмпирически – при падении температуры уменьшают загрузку, а при повышении наоборот увеличивают, т.к. подача кислорода остаётся постоянным (Цех Разделения Воздуха рассчитан на определённую производительность). В этом случае меняется соотношение «шихта:кислород». Следствием такого метода ведения процесса является переменная производительность и глубина окисления шихты.

Только поддерживая температуру данным методом, производители получают разный состав продуктов плавки.

В качестве примера рассмотрим плавку смен, в которых наблюдались максимальные и минимальные потери меди со шлаком.

Анализ данных подтверждает наши выводы. В смену А содержание серы (основного источника тепла) упало до 18,88 %, а расход кислорода, с для поддержания температурного режима, увеличили. Увеличение

парциального давления кислорода в факеле приводит к генерации магнетита, повышению окислительного потенциала шлака, что в свою очередь увеличивает содержание в нём растворённой меди. В смену С содержание серы было высокой, расход кислорода был ниже теоретически необходимой, шихта недоокислилась, результат – бедный по меди штейн (24,84 %). Содержащаяся в шлаке медь представлена в основном тонкодисперсной сульфидной взвесью, коалесценция капель во время отстоя не наблюдалась.

Диаграммы, построенные на основе заводских данных, подтверждают результаты теоретических исследований.

На диаграмме 3. приведена зависимость содержания меди в шлаке от её содержания в штейне.

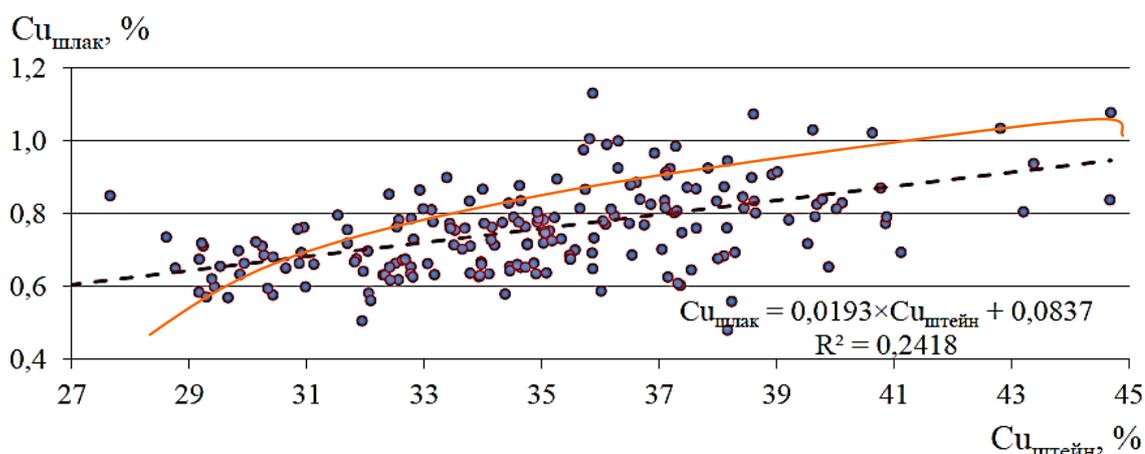


Рисунок 3. Зависимость содержания меди в шлаке [Cu] = f (Cu)

Верхний предел содержание меди в штейне лимитируется растворимостью меди в шлаке, а нижний предел выходом конвертерного шлака. С увеличением содержания меди в штейне соответственно растёт её растворимость в шлаке, а переработка бедных по меди штейнов увеличивает выход конвертерного шлака (2-4% Cu, до 4-10 г/т Au, до 50-200 г/т Ag и другие ценные компоненты), который требует дополнительной переработки. Учитывая эти факторы оптимальным принимаем плавку на штейн с содержанием меди 40 - 45 %.

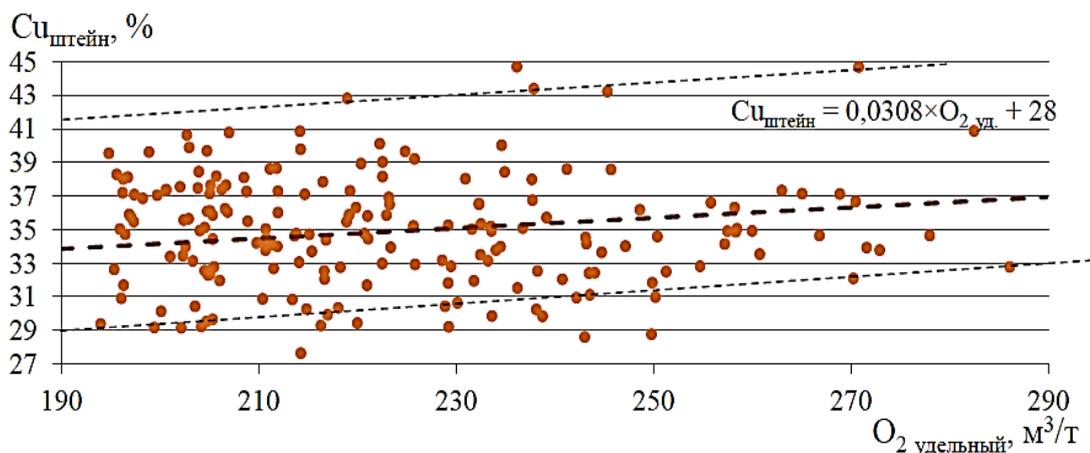


Рисунок 4. Содержание меди в штейне (%) в зависимости от удельного расхода технического кислорода м³/т

Характеризуя теплофизические свойства шихты, в частности её теплопотребление, Купряков Ю.П. указывает на её зависимость от содержания меди в штейне. Данный подход считаю посредственным, так как теплопотребление шихты зависит от степени окисления сульфидов концентрата. Даже при минимальной теплотворности шихты автогенность процесса можно добиться увеличением степени десульфуризации, так как основным источником тепла при автогенной плавке являются сульфиды. На практике автогенность процесса добивается изменением степени окисления, что в свою очередь определяет состав штейна (см. рис. 3 и 5). На рисунке 5 видна гиперболическая зависимость расхода кислорода от содержания серы в шихте.

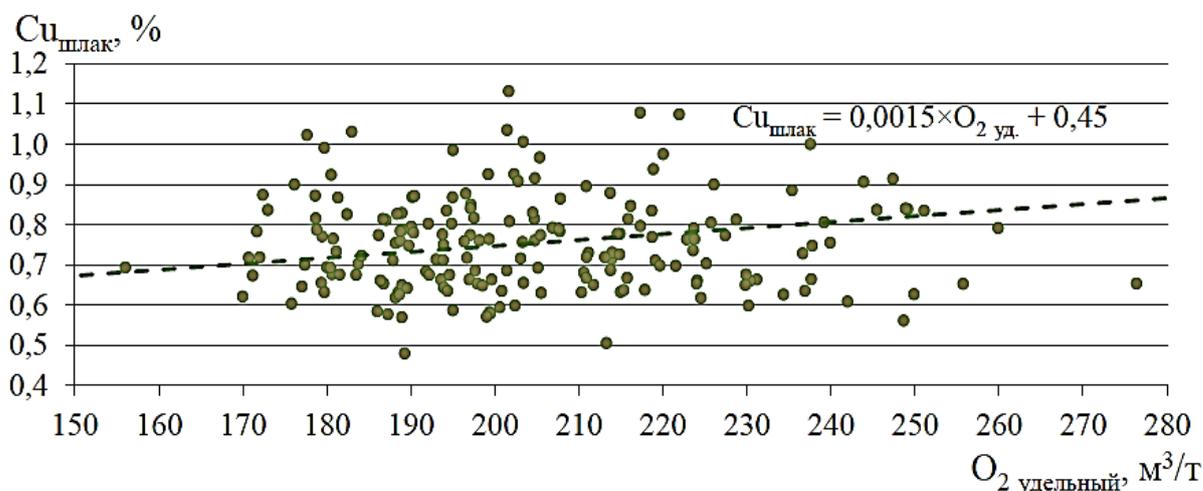


Рисунок 5. Содержание меди в шлаке (%) в зависимости от удельного расхода технического кислорода M^3/T

При падении содержания серы ниже 23 % резкое увеличение удельного расхода технического кислорода продиктовано нарушением теплового режима, прежде всего падением температуры в печи.

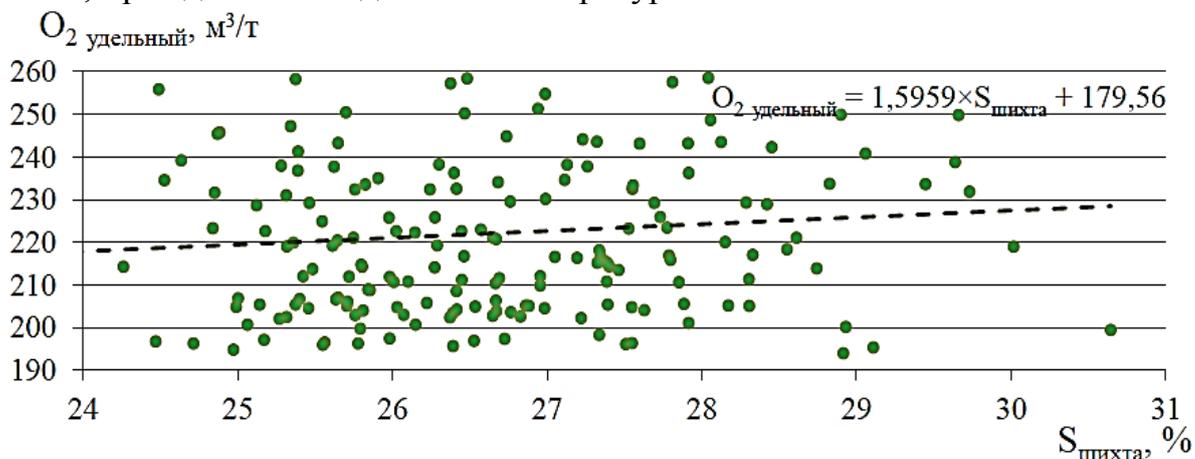


Рисунок 6. Изменение удельного расхода кислорода в зависимости от содержания серы в шихте

Для автогенной плавки шихты КФП АГМК, средний состав которого, %: Cu - 11,98; SiO₂ - 17,26; S - 25,14; Fe - 42,52; Al₂O₃ - 2,1; CaO - 1, степень десульфуризации должен составлять в среднем 75,5 %. При оптимальном ведении процесса содержание меди в штейне будет 45 %, а в шлаке – можно уменьшить до 0,5 %. Анализ тепловой баланса переработки данной шихты показывает, что недостаток тепла будет составлять примерно $5,8 \cdot 10^9$ Дж на тонну перерабатываемого материала. Это означает, что даже применив беддинговую систему усреднения состава шихты невозможно добиться стабильной плавки без введения в процесс теплотворных материалов.

Приведённые выше диаграммы (рис. 3 – 6) свидетельствуют о том, что на практике нарушение теплового режима является причиной колебания соотношения «шихта:кислород», а смещение зон интенсивного окисления (температурных максимумов) к износу футеровки и «сгоранию» кессонов.

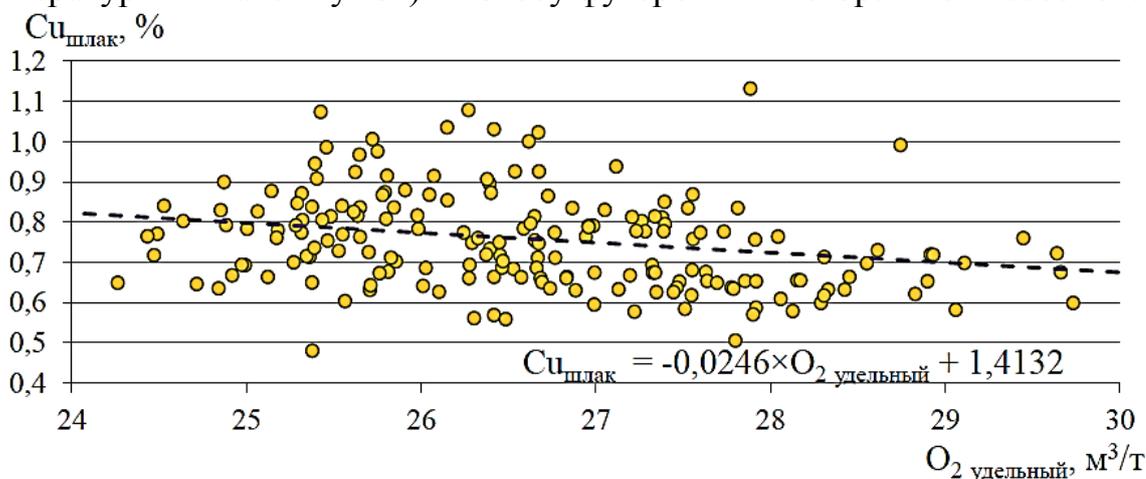


Рисунок 7. Содержание меди в шлаке в зависимости от содержания серы в перерабатываемой шихте, %.

В данной ситуации считаю уместным построение диаграмм, которые охарактеризовали бы потери меди в зависимости от нарушения теплового баланса (рис. 7.) и содержания в шихте основного источника тепла – серы (рис. 8).

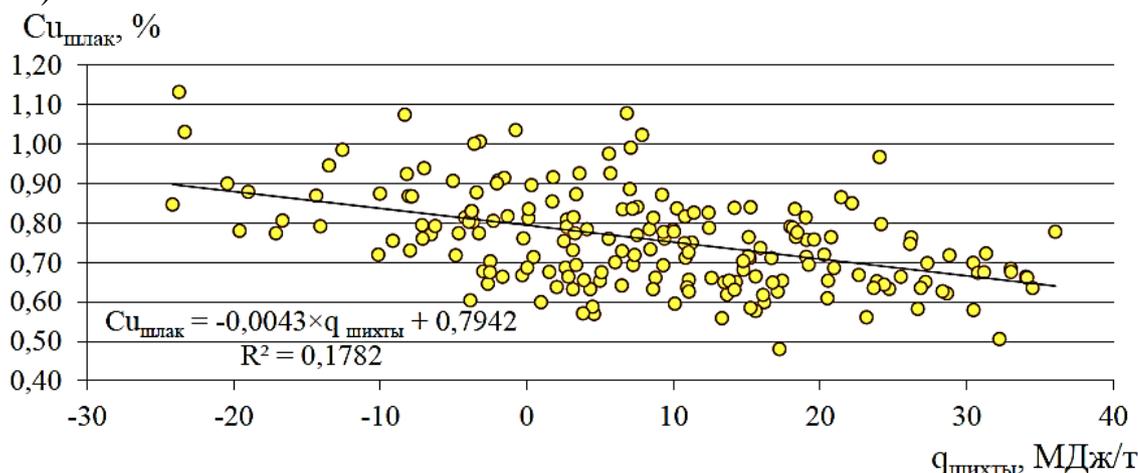


Рисунок 8. Зависимость содержание меди в шлаке от баланса тепла (при плавке на 45%-ный штейн)

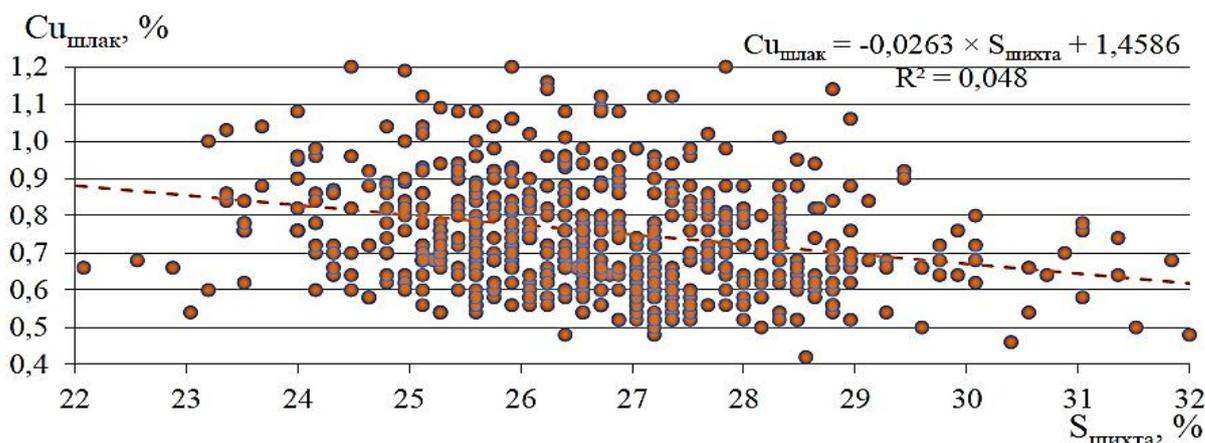


Рисунок 9. Содержание меди в шлаке в зависимости от содержания серы в перерабатываемой шихте, %.

Анализируя заводские данные, можно сделать следующие выводы: с повышением содержания серы в шихте (тепловыделения шихты), понижается (по гиперболе) удельный расход кислорода, это диктуется температурным режимом в печи. Основываясь на диаграммы, можно уверенно заявить, что вместе с шихтой необходимо подавать то количество кислорода, которое теоретически требуется для окисления сульфида железа и его ошлакования, а температуру регулировать другим методом. Только при таком режиме плавки можно предотвратить генерацию магнетита и закиси меди, тем самым уменьшить содержание растворённой меди в шлаке. Образование сульфидной взвеси предотвратить, уменьшая восстановительную среду.

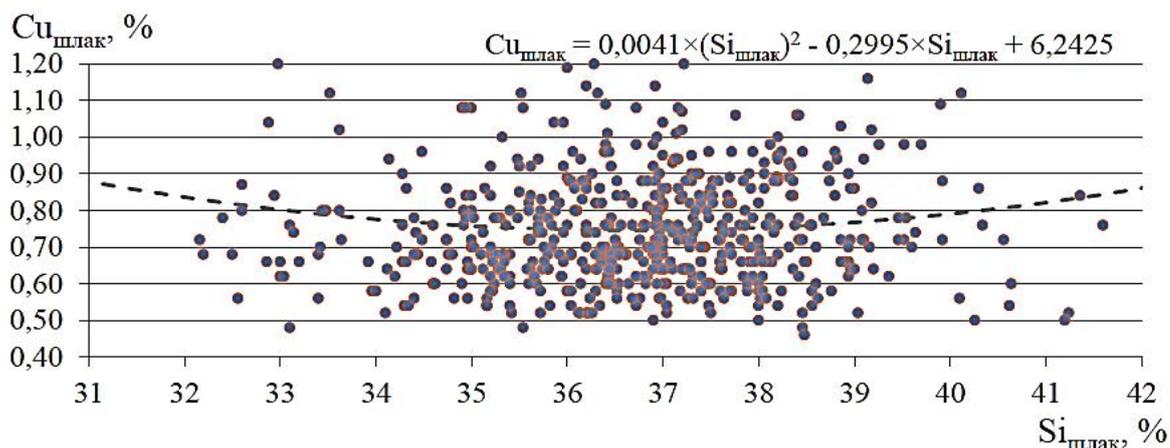


Рисунок 10. Зависимость содержание меди и оксида кремния в шлаке, %.

С целью определения оптимального режима плавки в лабораторных условиях была произведена плавка концентратов того же состава (смен **A**, **B**, **C** и **D**). Но подача кислорода и температура в печи регулировались на основе расчёта.

Например, при плавке шихты смены **A** ($Cu - 13,94 \%$; $Fe - 42,78 \%$; $CaO - 1 \%$; $SiO_2 - 16,34 \%$; $S - 23,84 \%$) расход кислорода определяется расчётом на получение 45 %-го медного штейна, в данных условиях

теоретически степень десульфуризации должен составлять 75%. Для данного состава шихты требуемый расход кислорода составляет 179,81 м³/т. Для поддержания температуры в печи в процесс вводили природный газ в объеме 19,17 м³ на тонну перерабатываемой шихты. Получили штейн, содержащий Cu – 45,0 %; Fe – 29,3 %; S – 23,84 %. В отвальном шлаке меди содержится 0,44 %. Для шихты смены **В** корректировали подачу технического кислорода до 280,59 т/м³, а расход природного газа составил 96,6 м³ на тонну перерабатываемой шихты. При плавке шихты смен **С** и **Д** расход технического кислорода составлял соответственно 186,88 и 211,29 т/м³. Расход природного газа не требовался, наоборот, излишек тепла выводился активным кессонированием.

Таблица 2.

Результаты лабораторных испытаний

Плавка	Материалы и продукты плавки	Состав, %					Пролав, кг	Необходимый расход O ₂ , (л/кг)	Баланс тепла, Дж/кг	Расход природного газа, м ³ /т
		Cu	FeO	CaO	SiO ₂	S				
А	Шихта	13,94			16,34	23,84	1	144,65 (269)	-6579,6	19,17
	Штейн	45,0				23,7				
	Шлак	0,44	50,37	1,49	37,13	0,43				
В	Шихта	12,56			25,32	18,88	1	198,56 (736,4)	-33166,2	96,6
	Штейн	45,0				23,7				
	Шлак	0,35	57,39	1,42	35,65	0,35				
С	Шихта	10,59			13,24	30,40	1	218,43 (147,55)	+19695,16	-
	Штейн	45,0				23,7				
	Шлак	0,49	45,24	1,48	37,7	0,492				
D	Шихта	9,26			16,84	28,64	1	243,85 (530,6)	+4260,48	-
	Штейн	45,0				23,7				
	Шлак	0,45	47,8	1,43	36,16	0,454				

Извлечение в среднем составил 97,0 %. Выход штейна, состав которого был постоянным, зависел только от содержания меди в концентрате. Содержание меди в шлаках не превышал отметки 0,5 %. Получить более бедные шлаки в производственных условиях кислородно-факельной плавки невозможно, более целесообразно организация внепечного обеднения.

Составленная программа позволяет не только определить количество необходимого кислорода, но и рассчитать баланс тепла при плавке на штейн заданного состава для конкретной шихты. Точность результатов зависит от точности состава и дозировки концентрата и флюсов.



Рисунок 11. Зависимость баланса тепла от содержания серы в шихте, при плавке на штейн (45% Cu) шихты КФП.

Прямо пропорциональная зависимость теплового баланса от содержания серы в шихте подтверждает тот факт, что сера является основным источником тепла. Оптимальное содержание серы в шихте является 24-26 %, при снижении её содержания на действующем предприятии. Более высокое содержание серы негативно влияет на производительность печи. На практике производительность при этом регулируется увеличением загрузки, т.е. снижают содержание меди в готовом продукте. В результате увеличиваются механические потери, а переработка бедных штейнов увеличивает выход конвертерного шлака.

Для решения данной проблемы предлагается:

1. при снижении теплотворности шихты компенсировать недостаток тепла по расчёту теплового баланса для конкретного состава шихты. Пересчитать материальный и тепловой балансы с учётом добавки тепловыделяющих медь содержащих материалов.
2. при повышении теплотворности (повышении содержания серы выше 24 – 26 %) добавлять теплопотребляющие материалы. С учётом восстановительной атмосферы в печи в качестве такого материала предлагается перерабатывать измельчённые твёрдый конвертерный шлак и богатые шлаки КФП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов диссертационной работе (PhD) по техническим наукам на тему «Совершенствованию технологии переработки сульфидных медных концентратов в печи кислородно-факельной плавки» представлено следующее заключение:

1. Исследованы влияние химического состава продуктов плавки сульфидных медных концентратов в печи кислородно-факельной плавки на физико-химические свойства шлака, зависимость влияния удельного расхода кислорода на величины выхода шлака и качество штейна, возможности контроля температуры за счёт ввода в плавку теплообразующего и теплопоглощающего сырья. Это служит для получения более богатого по содержанию меди штейна, обеспечения максимальной производительности печи и эффективного использования тепла от окисления сульфидных минералов.

2. Была разработана технология, согласно которой до загрузки сырья в печь, на основе расчёта материального баланса, в шихту добавляется нужное количество кремнийсодержащего сырья и объём вдуваемого технического кислорода с целью получения шлака заданного состава, а необходимость ввода тепловыделяющего или теплопотребляющего сырья рассчитывается тепловым балансом. Это служило уменьшению потерь меди со шлаками на 0,3-0,5% за счёт уменьшения количества магнетита, образующегося в расплаве.

3. Разработана технология изменения угла подачи шихты и технического кислорода через специальные горелки в печь кислородно-факельной плавки с 26 до 30 градусов в зависимости от изменения скорости потоков и соответственно смещения области температурного максимума. Разработанная технология позволила сократить время нахождения сульфидного медного концентрата в газовой фазе, предотвратить быстрое разрушение футеровки печи, а также снизить на 4-5% потери основных компонентов шихте с отходящими газами.

4. Разработана технология управления режимом теплового движения в печи путём изменения показателя подачи кислорода при плавлении сульфидных медных концентратов в печи кислородно-факельной плавки. Это позволило снизить процесса переокисления и пенообразования в шлаке, а также для повышения извлечения меди в штейн до 94,0-95,0%.

5. Разработаны наиболее эффективные показатели, основанные на технико-экономическом сравнении режимов плавки сульфидных медных концентратов в печи кислородно-факельной плавки. Это служит для модификации устройств печного комплекса, установки в бункерах линий снабжения онлайн-анализатора результатов анализа и передачи результатов анализа в программу расчёта режимов.

6. По результатам исследований создана математическая программа, позволяющая корректировать состав шихты. Данная программа позволяла оперативному персоналу контролировать работу установки путем ввода исходного состава сырья.

7. Усовершенствована технология переработки шлаков путём медленного охлаждения их вне печи в ковшах. Эта тепловая энергия служит для того, чтобы

происходила коагуляция мелких частиц меди и её сульфидов (от 5-10 мкм до 50-70 мкм) и их дальнейшего извлечения при обогащении методом флотации.

8. За счёт усовершенствования процесса плавки сульфидных медных обогащений в печи кислородно-факельной плавки, снижения содержания меди в шлаке на 0,3 – 0,5%, обеспечения стабильного содержания меди в штейне на уровне 40-45% и предотвращения быстрого разрушения огнеупорной футеровки печи достигается экономический эффект в сумме 702 760 950 (семьсот два миллиона семьсот шестьдесят тысяч девятьсот пятьдесят) сумов в год.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING SCIENTIFIC DEGREES OF
DSc.03/30.12.2019.T.03.04 UNDER TASHKENT STATE TECHNICAL
UNIVERSITY**

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

SAYNAZAROV ABDUKAXXAR MATIBRAGIMOVICH

**IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY FOR PROCESSING COPPER
SULFIDE CONCENTRATES IN FLASH SMELTING FURNACES**

05.02.01 – Materials science in mechanical engineering. Foundry. Heat treatment and processing of metals under pressure. Metallurgy of ferrous, non-ferrous and rare metals. Technology of rare, noble and radioactive elements (in the direction of foundry production and metal processing technology)

**DISSERTATION ABSTRACT FOR THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
OF TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2024

The theme of dissertation doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2022.2.PhD/T2855

The dissertation has been carried out at the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the scientific council website (www.tdtu.uz) and on the website of «Ziyonet» Information and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor:	Matkarimov Sokhibjon Turdalievich Doctor of technical sciences, Associate professor
Official opponents:	Norkhudjayev Fayzulla Ramazanovich Doctor of technical sciences, professor Tolibov Bekhzod Ibromkhimovich Doctor of technical sciences, Associate professor
Leading organization:	Almalyk branch of NUST MISiS

The defense of the dissertation will be held at “11⁰⁰” on “10” February in 2024 at the meeting of the Scientific Council DSc.03.30.12.2019.T.03.04 at the Tashkent State Technical University (Address: 100095, Tashkent, University street, 2, tel/fax.: (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

The dissertation has been registered at the Information Resource Center (IRC) of the Tashkent State Technical University under № 328 (Address: 100095, Tashkent, University street, 2, tel/fax.: (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

The abstract of the dissertation is distributed on “29” January in 2024 year.
Protocol at the register № 174 dated on “29” January in 2024 year.



INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The purpose of the study is to develop an effective technology for processing sulfide copper concentrates in an flash smelting furnace, ensuring minimal losses of non-ferrous metals and their maximum recovery into blister copper.

The objects of research of the dissertation work are: current technology, processed materials, products and parameters of flash smelting of sulfide copper concentrates.

The scientific novelty of a research consists in the following:

a method was developed for processing sulfide copper concentrates using quartz compounds to reduce the amount of magnetite that makes it difficult to extract copper;

a technology was developed for reducing the residence time of hydrogen sulfide in the gas phase by changing the feed angle of the charge and technical oxygen through special burners to the oxygen-flare smelting furnace, as well as reducing losses of the main components of the charge with exhaust gases by 4-5%;

it has been found that the main factor affecting the copper content of slags is a thermal disturbance in the furnace and a variation in the specific oxygen consumption relative to theoretically necessary;

a computer program for calculating the optimal modes of the oxygen-flare smelting process depending on the composition of the processed charge was developed;

improved technology of slag cooling outside furnace in ladle due to their slow cooling based on dynamics of coagulation of fine copper particles and its sulphides with size from 5-10 mkm to 50-70 mkm under action of thermal energy.

Implementation of the research results. Based on the results obtained on improving the technology for processing sulfide copper concentrates in flash smelting furnaces, the following was achieved:

technology before supplying technical oxygen to the flash smelting furnace by adding silicon-based raw materials to the slag composition was introduced at the copper smelter of JSC “Almalyk MMC” (certificate of JSC AMMC dated April 5, 2023, No. SL-0456). As a result, the amount of magnetite formed in the melt decreased, and copper losses in the slag decreased by 0.3-0.5%.

technology for changing the angle of supply of solid raw materials and technical oxygen from 26° to 30° degrees through special burners in an flash smelting furnace was introduced at the copper smelter of JSC “Almalyk MMC” (certificate of JSC AMMC dated April 5, 2023, No. SL-0456). As a result, it was possible to reduce the time of enrichment of copper sulfide in the gas phase, prevent rapid wear of the furnace lining, and reduce the loss of main components in slag by 4-5%.

technology for controlling the order of heat movement in the furnace by changing the oxygen supply rate when melting sulfide copper concentrates in an flash smelting furnace was introduced at the copper smelter of JSC “Almalyk

MMC” (certificate of JSC AMMC dated April 5, 2023, No. SL-0456). As a result, the process of foaming in the slag decreased and the rate of transition of copper into matte increased to 94.0-95.0%. The economic effect of the implementation was 702 760 950 (seven hundred two million seven hundred sixty thousand nine hundred fifty) sums.

The structure and volume of the thesis. The structure of the dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, the list of references, applications. The volume of the dissertation is 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. Патент IAP 04663, Способ плавки сульфидных медных концентратов в печи кислородно-факельной плавки, Юсупходжаев А.А., Сайназаров А.М. и другие. 2011

2. Ким В.В., Юсупходжаев А.А., Сайназаров А.М. Определение оптимального режима кислородно-факельной плавки сульфидных медных концентратов // Горный журнал. – Москва, 2009. – №8. – С. 68-71. (№28, 05.00.00).

3. Starodub K., Kuminova Ya., Dinsdale A., Cheverikin V., Filichkina V., Saynazarov A., Khvan A., Kondratiev A. Experimental Investigation and Modeling of Copper Smelting Slags, Journal Metallurgical and Materials Transactions B 2016, p. 2904-2918 (№3, Scopus).

4. Sainazarov A.M., Yusupkhodiaev A.A., Kurbanov B.T., Abdujabbarov A.A., Bekbutaev A.N. Flare smelting technology of copper raw materials and its role in world copper production, Journal of Composition materials, 2021. - №4. - С.91-94 (№13, 05.00.00).

5. Matkarimov S.T., Nosirkujayev S.K., Saynazarov A.M., Berdiyarov B.T., Matkarimov Z.T. Methods of Protection Against Destruction of Refractory Materials Used for lining of Autogenous Smelting Furnace//Proceedings of International Conference on Inventive Material Science Applications, 2022, pp121-129 (№11, Springer)

6. A.M. Saynazarov, S.T. Matkarimov, S.Q. Nosirkhujaev, N.S. Yuldasheva. Determination of the optimal mode of flash smelting of sulfide copper concentrates // Tashkent. Technical science and innovation, 2023. - № 1. – pp. 37-44 (№16, 05.00.00).

II бўлим (II часть; part II)

7. Патент IAP 04714, Способ плавки сульфидных медных концентратов в отражательной печи, Якубов М.М., Сайназаров А.М. и другие. 2010

8. Сайназаров А.М., Негматов С.С., Абдукадыров А.А., Якубов М.М. Получение медного концентрата из шлаковых композиций и изучение его влияния на процесс отражательной плавки медеплавильного производства // Композиционные материалы. – Ташкент, 2011. – № 2. – С. 78–81.

9. Сайназаров А.М., Якубов М.М., Абдукадыров А.А., Екубов О.М., Халикулов Д.Б. Исследование восстановления оксида трехвалентного железа конвертного шлака, полученных при конвертировании штейнов автогенных печей, “Компазиционные материалы” узбекский научно-технический и производственный журнал. Ташкент, 2018 г. – №4. С 44-46.3 стр.

10. Сайназаров, А. М., Якубов, М. М., Абдукадыров, А. А., Файзуллаев, Ж. С., Мухамеджанова, Ш. А. Композиционные материалы на основе

техногенных отходов и местного сырья: состав, свойства и применение, Ташкент, №2 2021, С. 17-20

11. Юсупходжаев А.А., Сайназаров А.М. Исследование технологии переработки сульфидных медных концентратов в печах кислородно-факельной плавки // Сборник статей научно-практической конференции на тему «Научно-практическая конференция и конкурс научных работ среди студентов». Ч. 1. Ташкент. 2007 г. - С. 78-80.

12. Юсупходжаев А.А., Сайназаров А.М. Анализ и определение оптимального режима автогенной плавки сульфидных медных концентратов, Международная научно-техническая конференция «Интеграция вузовской науки, производства и образования», Ташкент, 2008, с. 84-89

13. Сайназаров А.М., Якубов М.М., Абдукадиров А.А., Екубов О.М., Халикулов Д.Б. Инновационные технологии на АО «Алмалыкский ГМК», Материалы Республиканской научно-технической конференции «Новые композиционные и нанокоспозиционные материалы: структура, свойства и применение». г. Ташкент, 2018 г., стр. 25-27.3 стр.

14. Сайназаров А.М., Якубов М.М., Мухаметджанова Ш.А., Валиев Х.Р., Абдукадиров А.А. Техногенные отходы производства в условиях АО «Алмалыкский ГМК», Материалы Республиканской научно-технической конференции «Ресурсо и энергосберегающие экологически безвредные композиционные и нанокоспозиционные материалы». г. Ташкент, 25-26 апрель 2019 г. стр. 345-347.3 стр.

15. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Сайназаров А.М., Курбанов Б.Т. Современное состояние и перспективы развития автогенных процессов переработки сульфидных медных концентратов, Инновационное развитие науки и образования: сборник статей X Международной научно-практической конференции, Состоявшейся 10 марта 2020 г. в г. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2020. С. 20 – 24.

16. Сайназаров А.М., Курбанов Б.Т., Абдужаббаров А.А., Бекбутаев А.Н. Технология факельной плавки медного сырья и её роль в мировом производстве меди. Международная научно-техническая конференция «Композиционные материалы на основе техногенных отходов и местного сырья: состав, свойства и применение» 16-17.09.2021 года, Ташкент, с. 89-90

17. Маткаримов С.Т., Сайназаров А.М., Юлдашева Н.С. Исследование и разработка эффективной технологии кислородно-факельной плавки // «Практические и инновационные научные исследования: актуальные проблемы, достижения и новшества (посвящены памяти профессора А.А. Юсупходжаева)». Сборник материалов Международной научно-технической конференции – Ташкент, 6 декабря 2021 года, - С.238-240.

18. Сайназаров А.М., Маткаримов С.Т., Юлдашева Н.С. Технология факельной плавки медного сырья и её роль в мировом производстве меди // «Риски, вызовы и приборы XXI века в цифровой трансформации рационального и безопасного недропользования». Сборник материалов Международной научно-технической конференции –2022 года, - С.305-309.

Avtoreferat “Texnika fanlari va innovatsiya” ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi va o‘zbek, rus, ingliz (rezyume) tillaridagi matnlar mosligi tekshirildi.

