

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

TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

ISMAILOV JONIBEK BAXADIROVICH

**RUX ISHLAB CHIQRISH TEXNOGEN CHIQINDILARINI 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– 2025

**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**

Ismailov Jonibek Bahadirovich

Rux ishlab chiqarish texnogen chiqindilarini qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish.....3

Исмаилов Жанибек Бахадирович

Усовершенствование технологии переработки техногенных отходов цинкового производства.....24

Ismailov Jonibek Bakhadyrovich

Improvement of technology recycling technogenic wastes of zinc production.....46

E'lon qilingan ishlar ro'uxati

Список опубликованных работ

List of published works50

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

TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

ISMAILOV JONIBEK BAXADIROVICH

**RUX ISHLAB CHIQRISH TEXNOGEN CHIQINDILARINI 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– 2025

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi oliy attestatsiya komissiyasida B 2022.3.PhD/T3102 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Toshkent davlat texnika universitetida bajarilgan.

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

Ilmiy rahbar:

Berdiyarov Bahriddin Tilovqabulovich
texnika fanlari doktori, dotsent

Rasmiy opponentlar:

Norxudjayev Fayzulla Ramazanovich
texnika fanlari doktori, professor

Samadov Alisher Usmanovich
texnika fanlari doktori, professor

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 2025 yil "08" noyabr soat 14:00 dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100095, Toshkent shahri, Olmazor tumani, Universitet ko'chasi 2-uy. Tel/faks.: (99871)277-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (47 raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100095, Toshkent shahri, Olmazor tumani, Universitet ko'chasi 2-uy. Tel/faks.: (99871)277-10-32).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil "23" oktabrda tarqatildi.
(2025 yil "10" oktabrdagi 193 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. Turaxodjayev

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

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasiga avtoreferat)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda rux ishlab chiqarishda hosil bo'ladigan texnogen chiqindilarni qayta ishlash masalalariga alohida ahamiyat berilmoqda. Texnogen chiqindilarni qayta ishlashda ularning tarkibida mavjud bo'lgan metallarni tejash va ulardan ruxni ajratib olish alohida ahamiyat kasb etmoqda. Shu bilan bir qatorda rux ishlab chiqarishda hosil bo'ladigan texnogen chiqindilarini qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish asosida gidrometallurgik usulda eritish orqali ruxni eritmaga o'tkazishda sodir bo'ladigan fizik-kimyoviy jarayonlarni tadqiq qilish muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Bu borada dunyoda keng qamrovli ilmiy izlanishlar olib borilmoqda, jumladan AQSh, Yaponiya, Rossiya, Avstraliya, Shvetsiya, Xitoy, Peru, Hindiston, Meksika va Kanada kabi mamlakatlarda rux ishlab chiqarishda hosil bo'ladigan texnogen chiqindilarini qayta ishlashda ruxning qoldiq kekdan ajratib olishga, ularga ishlov berishda gidrometallurgik va termik usullarni takomillashtirishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda rux ishlab chiqarish chiqindilarini qayta ishlashda kombinatsiyalashgan usul, ya'ni dastlab pirometallurgik, so'ng gidrometallurgik qayta ishlash usullariga asoslangan texnologiyalarni takomillashtirishga qaratilgan qator ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Jumladan, rux keklarini uglerod saqlovchi qattiq tiklovchilar bilan tiklash, sulfatlovchi kuydirish, ruxlangan temir va rux boyitmasi bilan tiklash, suv bug'i ishtirokida kuydirishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan, sianidsiz ishlov berish asosida nodir metallarni ajratib olish, yuqori haroratli tanlab eritish, flotatsiya usulida boyitib so'ng kuydirish va pechning issiqlik texnik rejimini takomillashtirish, tiklovchi kuydirishning kinetik rejimini o'zgartirishni modellashtirish bo'yicha ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Shu bilan bir qatorda dunyo olimlari tomonidan gazzimon tiklovchilar yordamida past haroratlarda kuydirish hamda uglevod yordamida eritish usulini takomillashtirish dolzarb vazifalardan biri hisoblanmoqda.

Respublikamizda rux ishlab chiqarish uchun foydalanilayotgan boyitmalarni davriy yetkazib berilayotgan bir vaqtda, uni uzluksiz ishlab chiqarish jarayoniga yo'naltirish orqali undan ruxni ajratib olish unumdorligini oshirish, boyitma tarkibidagi rux va boshqa qimmatbaho elementlarni chiqindilar bilan yo'qolishini oldini olish chora tadbirlari ishlab chiqilmoqda. Yangi O'zbekistonning 2022-2026 yillarga mo'ljallangan taraqqiyot strategiyasida jumladan "Yashil iqtisodiyot" texnologiyalarini barcha sohalarga faol joriy etish orqali 2026 yilga qadar havoga chiqariladigan zararli gazlar hajmini 20 foizga qisqartirish, metallurgiya sanoati sohasida ekologik talablar va atrof-muhit muhofazasi me'yorlarini xalqaro standartlar asosida belgilash, chiqariladigan ifloslantiruvchi moddalarni ekologik talablar doirasidan oshmasligini ta'minlash, rux va misni chuqur qayta ishlash evaziga yuqori qo'shilgan qiymatli mahsulot turlarini ko'paytirish" ga yo'naltirilgan vazifalar belgilab berilgan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, xususan, rux ishlab chiqarishning metall tarkibli texnogen chiqindilarini qayta ishlashning yangi energiya va resurs tejamkor usullarini ishlab chiqish va mavjud

usullarni takomillashtirish, jumladan rux keklarini qayta ishlashning an'anaviy velsevlash usuliga nisbatan past haroratli va keklarni qattiq tiklovchi tarkibidagi uglerod evaziga emas balki metall oksidlari sirtiga tezroq adsorbsiyalanadigan tiklovchi gazlarni qo'llash evaziga tiklovchi kuydirish orqali qayta ishlash va jarayondan chiqadigan chiqindi gazlarning miqdorini kamaytirish muhim hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining ¹2022 yil 28 yanvardagi "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida" gi PF-60 – son Farmoni, 2022-yil 24-yanvardagi "Respublikada ishlab chiqarishni rivojlantirish va sanoat kooperatsiyasini kengaytirishning samarali tizimini yaratish chora tadbirlari" to'g'risidagi PQ-99-son Qarori, 2019-yil 30-oktyabrdagi "2030-yilgacha bo'lgan davrda O'zbekiston Respublikasining atrof-muhitni muhofaza qilish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi PF-5863-sonli Farmoni, 2018 yil 27 apreldagi "Innovatsion g'oyalar, texnologiyalar va loyihalarni amaliy joriy qilish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-3682-sonli Prezident Qarori, 2021 yil 24-iyundagi PQ-5159-son "Kon-metallurgiya sanoati va unga bog'liq sohalarni rivojlantirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida" gi Qarorlari, hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining: II. "Energetika, energiya va resurs tejamkorlik" ustuvor yo'nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Rux ishlab chiqarish jarayonida hosil bo'ladigan keklarni qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish borasida Dunyo olimlari tomonidan ko'plab tadqiqotlar olib borilgan. Yetakchi xorijiy olimlar, jumladan Jiang G., Peng B., Liang Y., Chai L., Wang Q., Li Q., Hu M. lar kekni sulfatlovchi kuydirish orqali qayta ishlab, so'ng tanlab eritish orqali rux, marganes, mis, kadmiy kabi metallarni ajratib olish texnologiyasini yaratishga muvaffaq bo'lgan. Dusan D., Milos B., Dragan V., Lucheva B., Iliev P., Stefanova V., Angelov T., Yankova T., Ranchev M., Valchanova I., Grigorova I., Nishkov I. lar olib brogan ilmiy tadqiqot ishlari rux ishlab chiqarish keklarini gidrometallurgik usulda siyansiz qayta ishlashga qaratilgan. Natijada velslashga yuboriladigan kek tarkibida kumush, mis, qo'rg'oshinni miqdorini kamaytirishga erishilgan. Li M., Peng B., Chai L., Wang J., Peng N., Yan H. tiklovchi moddalarni qo'llab rux ishlab chiqarish keklarini qayta ishlash usulini ishlab chiqishgan, natijada ferrit strukturasi parchalab temirni magnitli usulda ajratish orqali kuydirish pechlarida hosil bo'ladigan qoldiq mahsulot sifatini yaxshilashga erishilgan.

Rux ishlab chiqarish keklarini qayta ishlash jarayonlarini optimallashtirish ustida ilmiy ishlar olib borgan MDH olimlari Klyayn S.E., Kazlov P.A.,

¹O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida" gi PF-60 –son Farmoni

Naboychennko S.S., Shivrín G.N., Kazanbaev L.A.lar tomonidan keklarni tiklovchi kuydirish pechlarining issiqlik-texnik rejimlarini o'zgartirish orqali ishlab chiqarish unumdorligini oshirishga erishilgan. Pan'shin M.A., Anisimova O. S., Mamyachenkov S. V., Rogozhnikov D. A.lar rux keklarini Velslash natijasida olingan kuyindini tanlab eritish davrida yo'ldosh elementlarning eritmaga o'tishining kinetik qonuniyatlarini aniqlash orqali temir, mis va qo'rg'oshin oksidlarini tanlab eritishning yuqori ko'rsatkichlariga erishgan. Maltsev V.A., Viduet'skiy M.G., Panshin A.M., Purgin A.P., Garifulin I.F. va Geyxman V.V.lar rux keklarini velslashdan oldin flotatsiyalash orqali boyitib, qisman ruxni, kumushni va sulfid xolidagi oltingugurtni ajratib olishga erishgan. Shuningdek, rux ishlab chiqarish keklarini qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish bo'yicha O'zbekistonda ilmiy-tadqiqot ishlarini olib borgan Holikulov D.B., Yakubov M.M., Abdukadirov A.A., Mamatkulov N, Muxametdjanova Sh.A., va boshqalar tomonidan rux keklarini yuqori haroratli tanlab eritish texnologiyasi ishlab chiqilgan. Abdurahmonov S., Turapova M.S., Abdukarimova N., Holikulov D.B., Samadov A.U., Boltayev O., va boshqalar rux keklarini suv bug'i ishtirokida kuydirish orqali undagi qimmatbaho komponentlarni ajratib olishni osonlashtirishning optimal parametrlari aniqlangan.

Rux ishlab chiqarish keklarini qayta ishlash jarayonini takomillashtirish borasida garchi ko'plab ilmiy natijalarga erishilgan bo'lsa-da, hali yechimini topmagan muammolar anchagina. Rux keklarni gidrometallurgik tanlab eritishda temirning ko'p miqdorda cho'kishi va uni qayta ishlash uchun alohida texnologiya talab etilishi, kekni neytral tanlab eritishda temirning oksidlanishi va cho'kishi rux sulfat eritmasini mayin gidrolitik tozalash natijasida olinadigan cho'kmaning xususiyatlariga, filtrlanishiga, jarayonning kinetikasiga va cho'ktirish jarayonining texnologik ko'rsatkichlariga salbiy ta'siri, siyansiz tanlab eritishda kekdagi oltinning cho'kmada qolib ketishi, shpinel birikmali rux ferritini pirometallurgik qayta ishlash jarayonlarida ko'p miqdorda energiya va mablag' sarflanishi hamda, keklarni metallurgik pechlarda tiklash jarayonida klinker hosil qilmasdan kekdagi foydali va qimmatbaho komponentlarni ajratib olish usulini ishlab chiqish lozim. Kekni qayta ishlashda ferritlar va silikatlarini parchalab (suyuq qatlam) klinker hosil bo'lishini oldini oluvchi omillar yetarlicha aniqlanmagan. Yuqorida keltirilgan muammolar yechimini topish uchun kek-tiklovchi sistemasida ferritlarni maksimal parchalab miqdorini minimallashtirish, kekdagi ruxning miqdorini maksimal darajada kamaytirish, qo'llaniladigan tiklovchi moddalar tan-narxining qimmatligi sababli rux ishlab chiqarish keklarini qayta ishlashning nisbatan samaraliroq texnologiyasini ishlab chiqish yoki mavjud texnologiyalarni yanada takomillashtirish uchun tadqiqotlar o'tkazish zarur.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasining AL-592102410 sonli "Fazalararo mikro-/nano pufakli guruhlar asosida minerallarni flotatsiyalashda konditsiyalashning samarali texnologiyasi va uskunalarni tadqiq etish" (2023) mavzusidagi, 63-172 yur x/sh 5/20 raqamli "Noyob, tarqoq, nodir, rangli va qora metallar resurslarini aniqlash uchun "Olmaliq

KMK” AJ ikkilamchi texnogen hosilalarning moddiy tarkibining tahlili” (2020-2021 yy.) mavzusidagi xo‘jalik shartnomasi, hamda “Metallurgiya” kafedrasida kunning ikkinchi yarmida professor-o‘qituvchilari tomonidan bajariladigan “Ikkilamchi texnogen chiqindilar va mahalliy mineral xomashyolarni qayta ishlashda resurs va energiya tejamkorlikni ta’minlaydigan texnologiyalarni ishlab chiqish” mavzusidagi ilmiy-tadqiqot ishlari doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi: rux ishlab chiqarish texnogen chiqindilarini qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

rux ishlab chiqarish texnogen chiqindi kekining xossasi va uni qayta ishlashning mavjud texnologiyalari bo‘yicha ma’lumotlarni analitik tahlil qilish;

rux kekidan rux va boshqa qimmatbaho komponentlarni ajratib olishning samarali texnologiyasini ishlab chiqish maqsadida mahalliy tiklovchi gazlarning kukunsimon kek bilan turli haroratlarda o‘zaro tasirlashish jarayonida ferritning parchalanish darajasini o‘rganish;

energetik gazlar tarkibidagi tiklovchi gazlarning kek tarkibidagi shpinel tuzilishli ferritlarni tiklab kuchsiz selektiv tiklovchi muhitni ta’minlash uchun gazlarning sarfini va kuydirish davomiyligini aniqlash;

rux keklarini kuchsiz tiklovchi muhitda kuydirish natijasida hosil bo‘lgan kuyindini past haroratli va kuchsiz kislotali muhitda tanlab eritishning optimal ko‘rsatkichlarini aniqlashdan iborat.

Tadqiqotning obykti sulfidli rux boyitmalarini oksidlovchi kuydirish natijasida olingan kuyindini neytral tanlab eritishda hosil bo‘ladigan texnogen chiqindi keklar va tarkibida tiklovchi gazlar saqlagan mahalliy energetik gazlar hamda uglerod saqlagan qattiq tiklovchilar.

Tadqiqotning predmeti rux ishlab chiqarish unumdorligini oshirish maqsadida qoldiq keklarni pirometallurgik usul orqali dastlabki selektiv tiklash yo‘li bilan ishlov berib, so‘ng hosil bo‘lgan kuyindini gidrometallurgik usulda kuchsiz kislotali va past haroratli muhitda tanlab eritish orqali ruxni ajratib olish texnologiyasini takomillashtirish hisoblanadi.

Tadqiqotning usullari. Rux kekini tadqiq etishning zamonaviy, nazariy va eksperimental usullari, granulometrik, termodinamik tahlil usullaridan foydalanilgan. Tadqiqot jarayonida rux kekining va tiklovchi kuydirishdan olingan kuyindining kimyoviy tarkibi va ulardagi metallarning donadorligi skanerlovchi elektron mikroskoplarda energiya dispersli spektroskopiya va titrimetrik usullari qo‘llanilgan. Rux kekining, tiklovchi kuydirish kuyindisining, tanlab eritish qoldig‘ining mineralogik tarkiblarining sifat tahlili rentgen nurli difraktometr usulidan foydalanilgan. Tiklanish jarayonlarining termodinamik qiymatlari FactSage dasturiy ta’minot usuli qo‘llanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

quvur aylanmali pechda tiklovchi gazlar atmosferasida olib borilgan selektiv tiklovchi kuydirish jarayonidan olingan kuyindini past kislotali tanlab eritish usuli eritmaning harorati va konsentratsiyasining o‘zgarishi asosida ishlab chiqilgan;

rux kekidan ruxni ajratib olish usuli tiklovchi energetik gazlarning tiklovchanlik xususiyatlarining haroratga bog‘liq ravishda o‘zgarish dinamikasining kritik nuqtalarini aniqlash asosida ishlab chiqilgan;

rux keki bilan mahalliy energetik gazlar tarkibidagi is gazi, vodorod va metan kabi tiklovchi gazlarni o‘zaro ta’siri natijasida kekning asosini tashkil qiluvchi rux ferriti va sulfatini kuchsiz tiklovchi muhitda tiklashda rux oksidi, magnetit, temir II oksidi va sulfat angidridiga qadar tiklanishi aniqlangan;

tiklovchi gazlar muhitida quruq kukunsimon rux keki qayta ishlanganda, tiklovchi gaz va rux keki sistemasida kekda shpinel tuzilishli ferrit yuzasiga metan va vodorodning 500-590 °C haroratda adsorbsiyalanishi aniqlangan;

tiklovchi kuydirish jarayonidan olingan kuyindini past haroratda kislotali tanlab eritish usuli eritma haroratining o‘zgarishiga ta’sir etadigan kimyoviy reaksiyalarning kechishi oqibatida ajralib chiqadigan issiqlik parametrlari asosida ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

quvursimon aylanuvchi pechda tarkibida 35% tiklovchi gazlar bo‘lgan energetik gazlardan foydalangan holda rux kekini kuchsiz tiklovchi gazlar muhitda tiklovchi kuydirish texnologiyasi ishlab chiqilgan;

tiklovchi kuydirish jarayonida rux keki tarkibidagi rux ferritlarini tiklash uchun kekni qayta ishlash haroratini an’anaviy velsevlash usuliga nisbatan 30 % ga pasaytirish hisobiga 800 °C da selektiv tiklovchi kuydirishning past haroratli usuli ishlab chiqilgan;

kuchsiz tiklovchi muhitda kuydirishdan olingan kuyindini tanlab eritishda eritmaning haroratini 12 % ga, konsentratsiyasini 17g/l ga pasaytirish orqali past haroratli va kuchsiz kislotali (pH=7) tanlab eritish usuli ishlab chiqilgan;

kuyindini tanlab eritishda ruxning eritmaga ajratib olish darajasini 92,8 % ga oshirishga erishish orqali, tanlab eritish qoldig‘idagi ruxning miqdorini 1,65 % dan 1,47 % gacha kamaytirishga erishilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi aniq belgilangan vazifalar asosida olingan, rux ishlab chiqarish keklarini qayta ishlashda olib borilgan eksperimental tadqiqotlarning ko‘pligi hamda termodinamik hisoblashlar asosida olingan natijalarga qayta ishlov berilishi, kekda rux, mis, temir, oltin, kumush, kadmiy, qo‘rg‘oshin, kremniy va boshqa komponentlarning kimyoviy tarkibi va mineralogik tuzilishlarining tahlili zamonaviy texnika va texnologiyalardan foydalanish asosida aniqlangan fizika-kimyoviy xossalarning ko‘rsatkichlari, hamda eksperimental natijalar bilan taqqoslash orqali izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati rux ishlab chiqarish kekini dastlabki tiklovchi kuydirish jarayonida tiklovchilar bilan ta’sirlashishi, bunda dastlab gazsimon tiklovchini ferritning yuzasiga adsorbsiyalanishi so‘ng oksidlangan birikmadan kislorodning ajralishi, shu ajralgan kislorod adsorbsiyalangan is gazi molekulasi bilan birikib karbonat angidrid va yangi faza hosil qilishi, hosil bo‘lgan karbonat angidridining oksid yuzasidan ajralib chiqishi natijasida rux ferritining rux oksidi va magnetitgacha tiklanishi, pechga gazlarni purkashda tiklovchi gazlarning

konsentratsiyasini oshirish bilan qatlamda haroratni oshirmagan xolda ferritlarning tiklanish reaksiyalarini tezlashtirish, rux ishlab chiqarish keklarini tiklovchi gazlar atmosferasida inert muhit hosil qilgan holda kuydirish natijasida kek zarralarining kuyishi va undagi ferritlar miqdorining kamayishi va buning natijasida kekning sochiluvchanligi ortishi va zichligining kamayishi, harorati pasaytirilgan kuydirish jarayonida hech qanday suyuq qatlamning hosil bo'lmashligi, hamda rux ferritidagi ruxning past haroratli va kuchsiz kislotali erituvchi muhitida tanlab eritganda yaxshi eriydigan rux oksidi holatigacha tiklanishi va erimagan temirga boy qoldiqlarning tanlab eritish dastgohi tubiga cho'kishining tezlashishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati kekni tiklovchi kuydirish jarayonida kuydirib, olingan kuyindini tanlab eritish orqali qayta ishlab, tarkibidagi ruxni eritmaga ajratib olish darajasining ortishi, keklarni sochiluvchan kukun holida tiklovchi gazlar atmosferasida qayta ishlashda import mahsulot sifatida keladigan koksni qo'llashni butunlay cheklashi va kuydirish haroratini 350 °C ga pasaytirishi, tiklovchi modda sifatida mahalliy tarkibida tiklovchi gazlar saqlagan energetik gazlarning qo'llanilishi esa kekni qayta ishlash uchun ketadigan sarfxarajatlarni kamaytirishi, kekni tiklovchi kuydirishdan hosil bo'lgan kuyindini gidrometallurgik qayta ishlashda haroratni 10-15°C ga pasaytirib tanlab eritishda ruxga nisbatan selektivlikni ta'minlanishi, shuningdek tanlab eritishda hosil bo'lgan ruxsizlangan qoldiqlarni tarkibidagi qimmatbaho komponentlarni ajratib olish uchun mis ishlab chiqarish zavodining konvertorlash jarayoniga yuborilishi, tadqiqotni amalga oshirish uchun hech qanday qo'shimcha dastgohlar talab etilmasligi, rux ishlab chiqarish texnologik sxemasidan chetga chiqilmasligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Rux ishlab chiqarish texnogen chiqindilarini qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

rux keklarini pirometallurgik usulda tiklovchi gazlar atmosferasida qayta ishlash orqali ferritlar strukturasi parchalab, ularni past haroratli kuchsiz kislotada tanlab eritish orqali ruxni ajratib olish ko'rsatkichini oshirish hamda qoldiq mahsulotdan, mis va nodir metallarni ajratib olish usuli "Olmaliq KMK" AJda joriy qilingan ("OKMK" AJ ning 4-noyabr 2024-yildagi № SL-001074 sonli ma'lumotnomasi). Natijada tarkibida 35% tiklovchi gazlar bo'lgan energetik gazlardan foydalanish hamda tiklovchi kuydirishni 800°C da amalga oshirish imkoni yaratilgan;

quvur aylanmali pechda tiklovchi gazlar atmosferasida olib borilgan selektiv tiklovchi kuydirish jarayonidan olingan kuyindini past kislotali tanlab eritish usuli "Olmaliq KMK" AJda joriy etilgan ("OKMK" AJ ning 4-noyabr 2024-yildagi № SL-001074 sonli ma'lumotnomasi). Natijada eritmaning haroratini 12 % ga, konsentratsiyasini 17g/l ga pasaytirishga erishilgan;

tiklovchi kuydirish kuyindisini tanlab eritishda eritmaning harorati 45 °C, konsentratsiyasi 115 g/l bo'lganda kuyindidagi komponentlarni tanlab eritishning selektivligiga erishildi va ruxning eritmaga ajratib olish darajasi 92,8 % ni tashkil

etadigan usul “Olmaliq KMK” AJda joriy etilgan (“OKMK” AJ ning 4-noyabr 2024-yildagi № SL-001074 sonli ma’lumotnomasi). Buning natijasida, tanlab eritish qoldig‘idagi ruxning miqdorini 1,65 % dan 1,47 % gacha kamayishiga erishilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiyaning tadqiqot natijalari 4 ta respublika va 3 ta xalqaro ilmiy-amaliy anjumanlarda va simpoziumlarda muhokamadan o‘tgan.

Tadqiqot natijalarining e’lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 21 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.

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

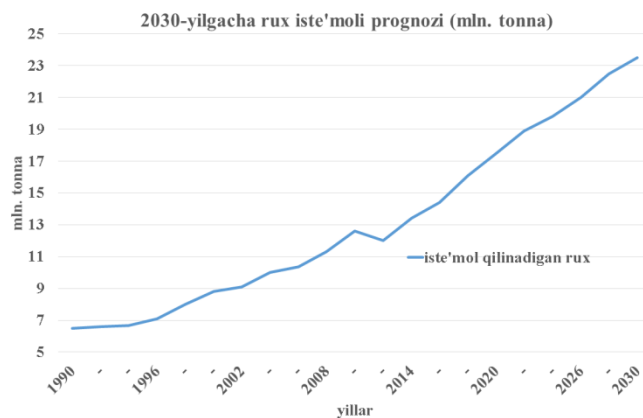
DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning kirish qismida dissertatsiya ishi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlarning dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, tadqiqotning obyekti va predmetlari tavsiflangan, tadqiqotning O‘zbekiston Respublikasi fan va texnika taraqqiyotining ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, hamda ishonchliligi 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 bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan.

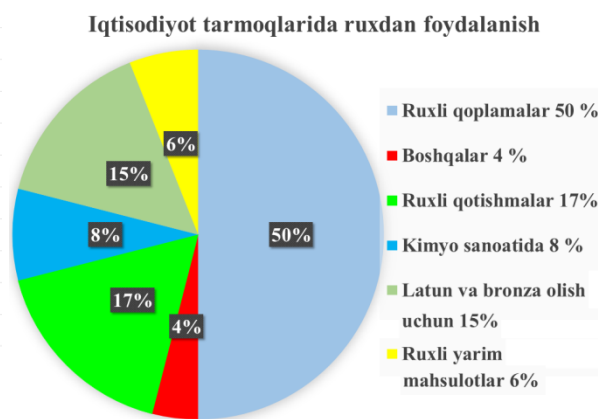
Dissertatsiyaning **“Rux ishlab chiqarishning zamonaviy ahvoli va rux saqlovchi texnogen chiqindilarni qayta ishlash istiqbollari”** deb nomlangan I - bobida rux ishlab chiqarishning zamonaviy holati va texnologiyalari hamda rux ishlab chiqarish texnogen chiqindi keklarini qayta ishlashning mavjud texnologiyalari va ularni takomillashtirish, kek tarkibidagi qimmatbaho komponentlarni ajratib olish orqali chiqindisiz texnologiyalarini joriy qilishning zamonaviy holati tahlil qilingan. Xorijiy hamda respublikamiz olimlarining tadqiqotlari tahliliga ko‘ra rux boyitmasi tarkibida sulfidli temir saqlovchi minerallarning bo‘lishi va ularni pirometallurgik usulda kuydirishda, jarayonning avtogenligining ortishi haroratning belgilangan darajadan oshib ketishiga sabab bo‘ladi. Bu esa oksidlovchi kuydirishda ferritlar hosil bo‘lishiga olib keladi. Kuyindi tarkibidagi ferritlar gidrometallurgik qayta ishlash natijasida cho‘kindi kek sifatida hosil bo‘ladi va bu keklarni hosil bo‘lishini butkul oldini olish amalda imkonsiz hisoblanadi. Ba’zan, tanlab eritishdan so‘ng hosil bo‘ladigan kekning chiqishi kuyindiga nisbatan 35-40% ni tashkil etadi.

Xalqaro ekspertlarning fikriga ko‘ra, 2030-yilgacha ruxga bo‘lgan talab 2015-yilga nisbatan 1,4 barobar oshishi taxmin qilinmoqda (Rasm 1.). 2030-yilgacha rux narxining bunday ortishiga rux metallini talab qiladigan yetakchi sohalarini yanada rivojlanishini misol qilib keltirish mumkin(Rasm 2.).

Rux keklarini qayta ishlash bo'yicha adabiyotlar tahlil qilinganda gidrometallurgik, flotatsion, pirometallurgik, ekstraksiya; kombinatsiyalashgan usullari kabi yo'nalishlarga bo'lingan. Gidrometallurgik va ekstraksiya usullari natijasida turli erituvchi va ekstragentlarning qo'llanilishi yuqori kapital xarajatlarni, ko'p miqdorda qoldiq mahsulot to'planishi esa qo'shimcha qayta ishlash usullarini talab etadi. Rux keklarini qayta ishlash bo'yicha adabiyotlar tahlil qilinganda gidro-



Rasm. 1. 2030-yilgacha Jahonda rux iste'molining prognozi



Rasm. 2. Ruxdan foydalanishda uning o'rnini bosuvchi mahsulot amalda deyarli imkonsiz bo'lgan tarmoqlar

metallurgik, flotatsion, pirometallurgik, ekstraksiya; kombinatsiyalashgan usullari kabi yo'nalishlarga bo'lingan. Gidrometallurgik va ekstraksiya usullari natijasida turli erituvchi va ekstragentlarning qo'llanilishi yuqori kapital xarajatlarni, ko'p miqdorda qoldiq mahsulot to'planishi esa qo'shimcha qayta ishlash usullarini talab etadi. An'anaviy pirometallurgik (Velslash) usulida tiklovchi sifatida ko'p miqdorda qo'shiladigan koksning qo'llanilishini bartaraf etish, klinker hosil bo'lishini oldini olish orqali kekdagi qimmatbaho komponentlarni ajratib olishni osonlashtirish, chiqindi gazlarning hosil bo'lishini kamaytirish orqali "yashil texnologiyalarni" qo'llab-quvvatlash, nafaqat respublikamiz balki xorijiy mamlakatlar ishlab chiqarish sanoatida ham muhim vazifalardan biri sifatida qaralmoqda.

Dissertatsiyaning **“Rux ishlab chiqarish keklarini qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirishning tadqiqot obyektlari va usullarini tanlash”** deb nomlangan ikkinchi bobida tadqiqot obyektlarining tanlab olinishi bayon etilgan. Tadqiqot uchun tanlab olingan texnogen chiqindi rux keking kimyoviy va fazaviy tarkiblarining tahlillari taqdim etilgan bo'lib, ularning kimyoviy hamda fizikaviy xossalarini o'rganishda zamonaviy usul va dastgohlardan foydalanilgan. Tadqiqotning asosiy obyektlari sifatida “Olmaliq KMK” AJ rux zavodining rux keklari tanlangan bo'lib, kekdagi ferritlar miqdorini kamaytirish uchun qattiq ugle-

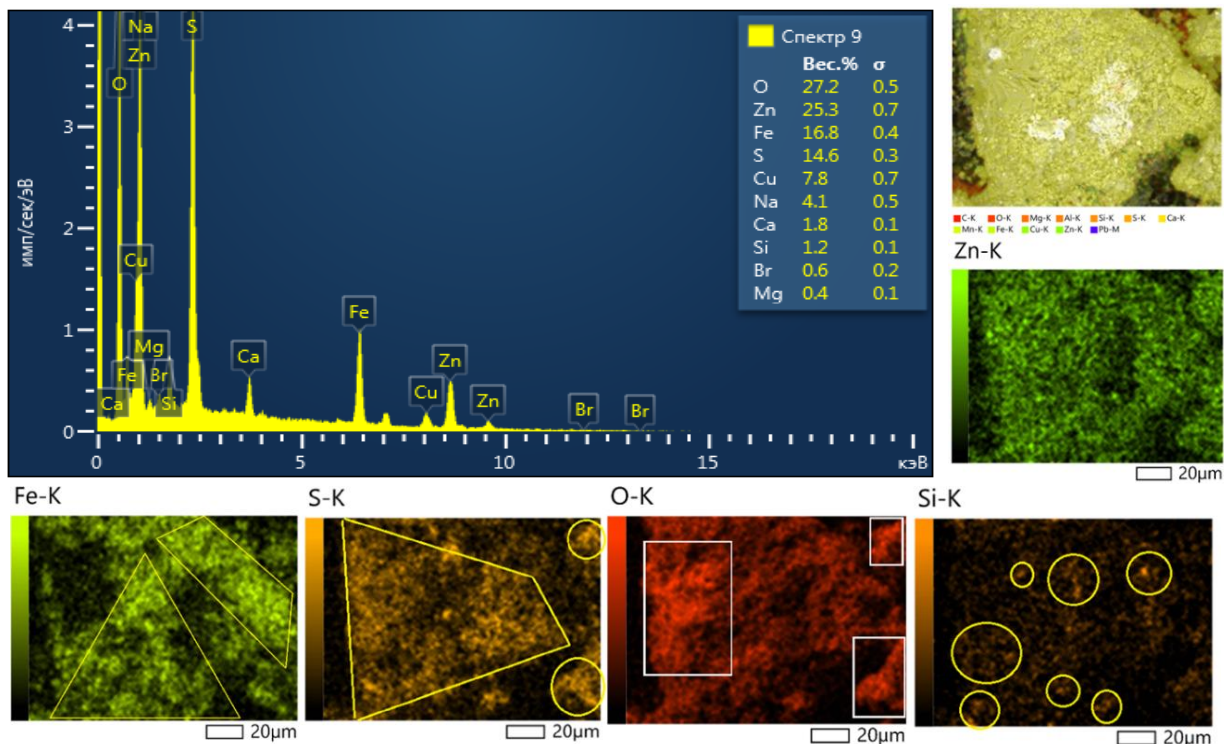
1-jadval

Rux keking kimyoviy tarkibi

Namunalar	(miqdor %)											
	Zn	Cu	Fe	Ca	S	Pb	Si	Al	Mg	O ₂	Cd	boshqalar

№1	22,05	2,63	17,14	1,66	8,62	3	1,06	0,57	0,30	37,70	0,3	4,97
№2	25,32	7,82	16,77	1,82	14,60	2	1,23	-	0,41	27,25	0,2	2,58

rod saqlovchi tiklovchi o'rniga tiklovchi gazdan foydalanish taklif etilgan va tarkibida tiklovchi gazlar saqlagan, Angren ko'mir konida ko'mirni yerostida gazlashtirish natijasida olingan energetik gazlardan foydalanilgan. Asosiy sinov-tajriba olib boriladigan moddalar vodorod, is gazi, metan, rux ferriti ($ZnFe_2O_4$), magnetit (Fe_3O_4) va rux sulfati ($ZnSO_4$) bo'lgan. Rux kekinging kimyoviy tarkibi 1-jadvalda va spektrogrammasi 3-rasmda keltirilgan.



Rasm. 3. Rux kekinging to'liq yuzasini (xaritalash usuli) o'rganish uchun EDS tahlili

O'rganilayotgan rux kekinging tarkibini tashkil etgan minerallar haqida to'liq ma'lumotga ega bo'lish maqsadida kek namunasi rentgen fazali tahlil qilindi. Tahlil natijalari 2-jadvalda, uning umumiy difraktogrammasi esa 4-rasmda keltirilgan.

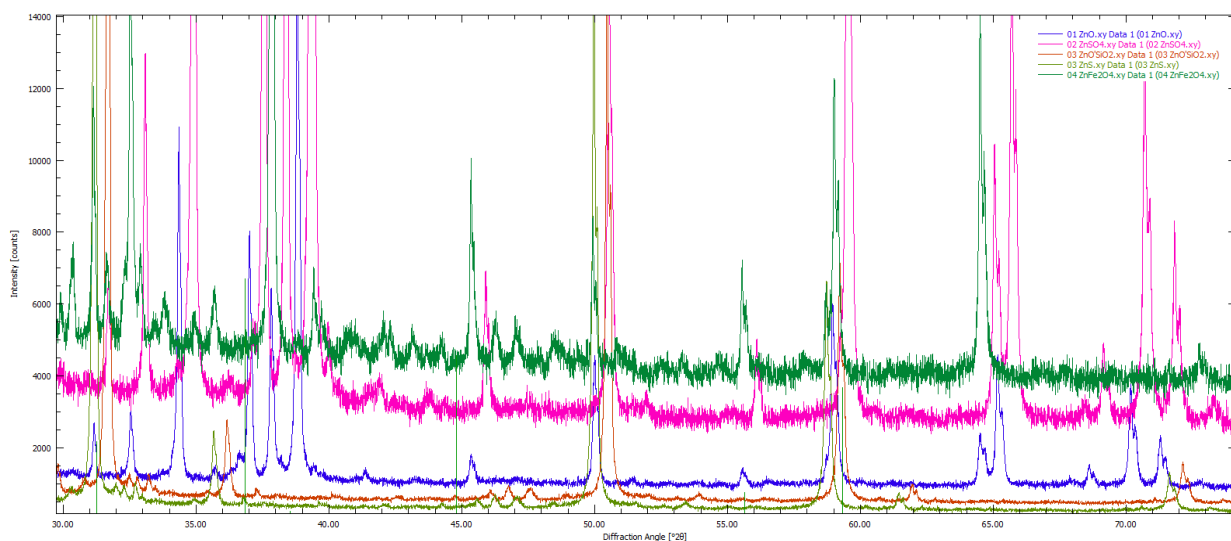
2-jadval

Kekidagi rux va temirning mineralogik tarkibi

Namunalar	Miqdori, %						
	Zn _{um}	ZnO	ZnFe ₂ O ₄	ZnO·SiO ₂	ZnS	ZnSO ₄	boshqalar
Rux miqdori	22,89	2,54	8,45	1,96	1,87	8,07	8,07
Taqsimlanishi %	100	11	37	8,5	8,2	35,3	35,3
	Fe _{um}	FeO	ZnFe ₂ O ₄	Fe ₃ O ₄	FeS ₂	ZnSO ₄	boshqalar
Temir miqdori	16,72	0,69	13,97	1,04	0,50	0,07	0,46
Taqsimlanishi %	100	4,13	83,55	6,22	2,99	0,42	2,75

Tadqiq qilingan rux keki tarkibidagi ruxning mineralogik tuzilishlarining rentgen difraktometrik spektral tahlili (Rasm 4.) 2-jadvalda taqdim etilgan qiymatlarni tasdiqlaydi.

Inert tiklovchi muhit sifatida “O‘zbek ko‘mir” AJ “Yerostigaz” konida ko‘mirni gazlashtirish orqali hosil bo‘lgan energetik gazlaridan foydalanilgan. Energetik gazlarning o‘rtacha kimyoviy tarkibi %: CO — 4.6, CO₂ – 22.1, H₂ – 19.2, CH₄ – 3.0, H₂S – 0.5, N₂ – 50.1, O₂ – 0.5, C_nH_m — 0.2.



Rasm. 4. Rux kekidagi ruxning fazaviy tarkibining rentgen diffraktometrik spektri

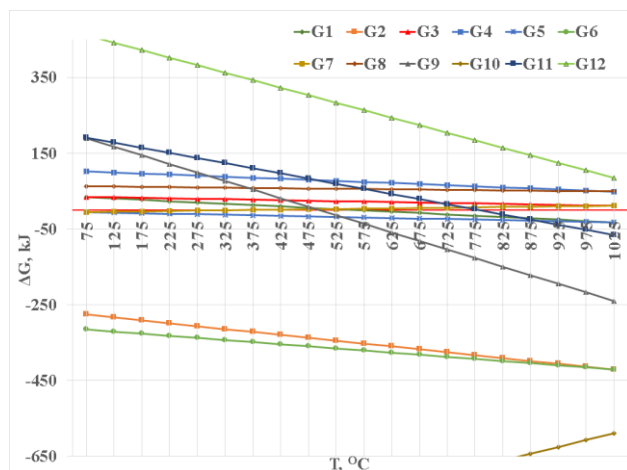
Dissertatsiyaning “**Rux keklarini kuchsiz tiklovchi gazlar atmosferasida qayta ishlashning asosiy texnologik parametrlarini aniqlash**” deb nomlangan uchinchi bobida quruq kukunsimon rux keklarini qayta ishlash mobaynida undagi ruxning mineralogik tuzilishi va kekda qolib ketishiga ta’sir etuvchi asosiy omillarni aniqlash va tahlil qilish, keklarni tiklovchi gazlar atmosferasida qayta ishlashda kek-tiklovchi gazlar sistemasida sodir bo‘ladigan tiklanish reaksiyalarining termodinamik jihatlarini o‘rganish va tiklanish jarayoni murakkab reaksiyon sharoitida sodir bo‘lish sabablarini aniqlash hamda tahlil qilish tadqiqotlari haqida ma’lumotlar berilgan.

Rux keklari tarkibidagi metall oksidlarini tiklovchi gazlar aralashmasida tiklovchi kuydirish orqali qayta ishlab optimal tarkibli kuyindi olish jarayonining termodinamik jihatlarini tahlil qilindi. Energetik gazlar tarkibidagi vodorod, is gazi va metan ishtirokida rux ishlab chiqarish keklari tarkibidagi shpinel tuzilishli rux ferritini va ferrit tiklanishidan hosil bo‘lgan magnetit, vyustit va rux oksidlarini va sulfatli birikmalarni tiklash jarayonlarining kimyoviy reaksiyalarini va shu reaksiyalarning borish mexanizmi tuzildi. Haroratning ortishi kukunsimon rux keki tarkibidagi metall oksidlarini tiklovchi gazlar yordamida tiklanish kimyoviy reaksiyalarida Gibbs energiyasi qiymatlarining o‘zgarishi natijalari (Rasm 5.) hamda muvozanat konstantasiga ta’siri (Rasm 6.) tadqiq qilindi. Bu tiklanish reaksiyalarining barchasi ijobiy ko‘rsatkichlarga ega. Ya’ni barcha kimyoviy reaksiyalar amaliy jihatdan sodir bo‘ladi. Rux ferritining tiklanishining boshlang‘ich harorati 500-600 °C oralig‘ida kechadi. Vodorodotermik, metanotermik va karbotermik reaksiyalarning termodinamik tahlilidan olingan natijalar qiymatlari va shu qiymatlardan olingan xulosalar ishlab chiqarishdan

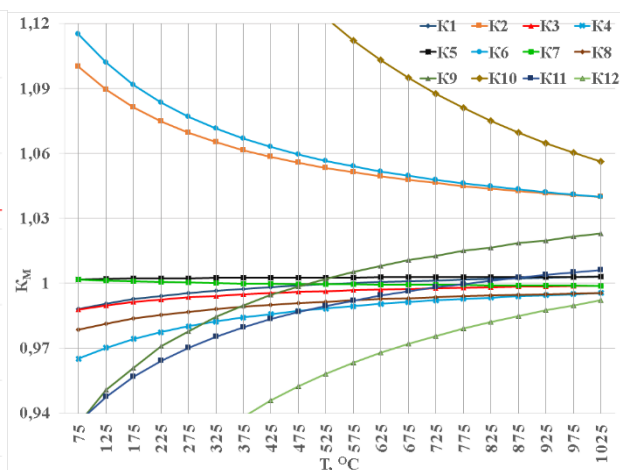
olingan tajriba natijalari bilan solishtirildi va bu qiymatlar bir-biriga to'liq mos kelishi aniqlandi.

Kukunsimon kek tarkibidagi ferritni tiklovchi gazlar bilan tiklash jarayonining mantiqiy va oson mexanizmi ishlab chiqildi va bu mexanizmga binoan, ferrit tilovchi gaz kontakt chegaralarida oqib o'tadigan kimyoviy reaksiyalarning termodinamik jihatlari o'rganildi.

Standart sharoit uchun qilingan termodinamik hisoblashlar natijasida reaksiyon sistemada eng tez boradigan 2,6,7,10 - kimyoviy reaksiyalar ekzotermik va standart



Rasm. 5. Rux keki va tiklovchi gaz sistemasida oqib o'tadigan tiklanish reaksiyalarining umumiy Ellingem diagrammasi



Rasm. 6. Rux kekining tiklovchi gazlar bilan tiklanish jarayonida muvozanat konstantasini haroratga bog'liq ravishda o'zgarishi grafiqi

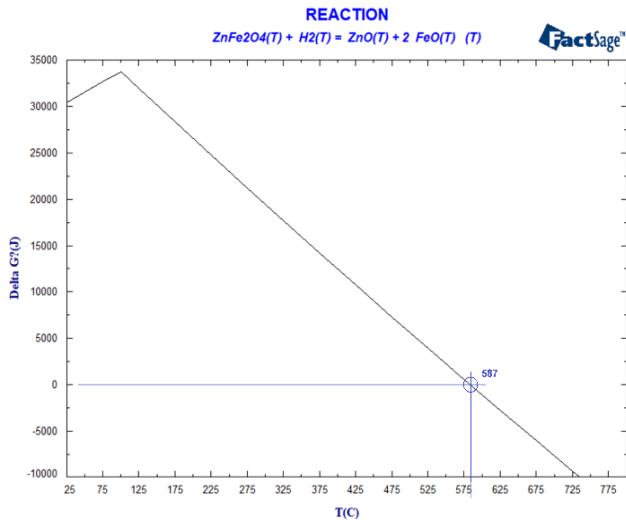
sharoitda mustaqil ravishda bora oladi (faqatgina aktivlanish energiyasi berilishi shart). Lekin 1,3,4,5,8,9,11,12-reaksiyalar endotermik va standart sharoitda ularning erkin energiyasi musbat qiymatlarni namoyon qildi. Bu esa mazkur reaksiyalarni standart sharoitda o'z-o'zidan sodir bo'lmasligini bildiradi. Bu reaksiyalarning borishi uchun yuqori haroratlar talab etiladi.

Oksid va vodorod, is gazi va metan sistemasida oqib o'tadigan barcha vodorodotermik, karbotermik va metanotermik reaksiyalar ichida eng sekin boradigan (limitlovchi) reaksiyalar (12,9,11,4) rux oksidining vodorod bilan tiklanish reaksiyasi bo'lganligi sababli reaksiya to'liq oqib o'tishi uchun sistemaning optimal harorati aynan shu rux oksidining tiklanish reaksiyasi harorati bilan aniqlanadi.

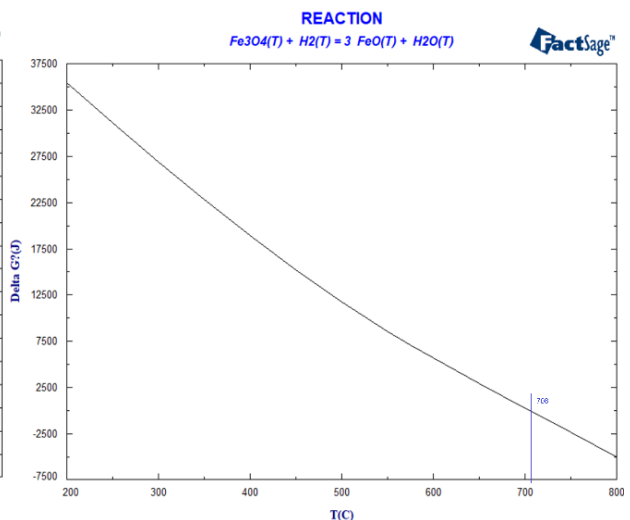
Lekin tadqiqotning maqsadi rux kuyindilarini kuchsiz tiklovchi xususiyatga ega bo'lgan gazlar atmosferasida tiklash bo'lganligi sababli sistemadagi rux oksidi va temir (II)-oksidlarining dastlabki metallik holiga qadar tiklanishi shart qilib olinmagan. Shuning uchun reaksiyon sistemada rux ferriti va magnetitning tiklanishi kuchsiz tiklanish shartini qanoatlantiradi. 5-rasmda tasvirlangan grafikdan shuni ko'rishimiz mumkinki, endotermik reaksiyalarni inobatga olgan holda rux ferriti va magnetitning tiklanish jarayonlarining erkin energiyalarini solishtiradigan bo'lsak, bunda limitlovchi reaksiya rux ferritining vodorod bilan tiklanishidir.

Rux ferritining tiklanish jarayonining boshlanish nuqtasi 587 °C haroratga muvofiq keldi. Ushbu haroratda magnetitning vodorod bilan tiklanish ehtimolligi juda yuqori. Jarayonning optimal haroratini aniqlashda uning kinetik xarakteristikasini ham bilish talab etiladi. Shuning uchun Gibbs energiyasi qiymatlaridan foydalanib, kimyoviy reaksiyalarning muvozanat doimiyliklari aniqlandi (Rasm 6.).

Shuningdek tiklovchi kuydirish jarayonida turli haroratlar intervalida mahsulotlarning jarayonga ta'siri, parchalanishi va tiklanishi 9-rasmda, hamda tiklovchi gazlar bilan rux keklarini velsevlashda haroratning 100 °C dan 750-950 °C

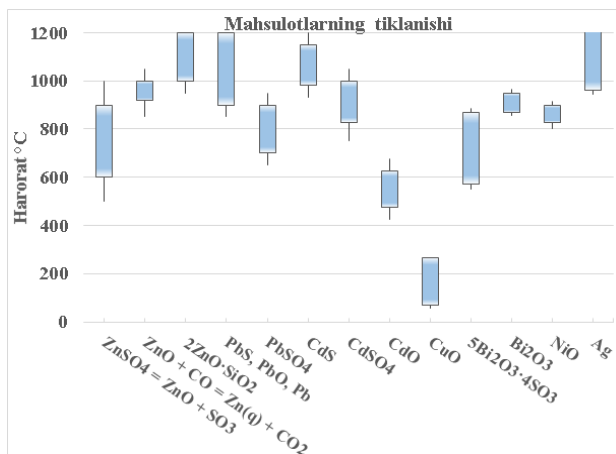


Rasm. 7. Ferrit va vodorod sistemasida oqib o'tadigan tiklanish reaksiyasining ΔG qiymatlari

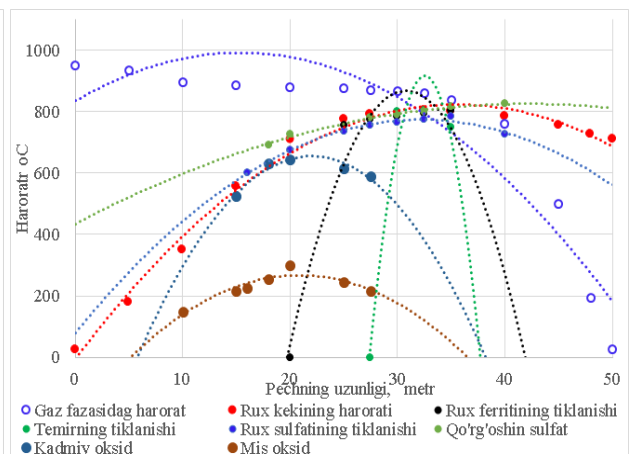


Rasm. 8 Magnetitning vodorod bilan tiklanish reaksiyasining ΔG qiymatlari

gacha $L50 \times d3,5$ metr o'lchamli pech uzunligi bo'ylab o'zgarish gradienti, gaz oqimi va kek qatlami haroratlarining o'zgarishi 10-rasmda keltirilgan.



Rasm. 9. Kuydirish jarayonida turli haroratlar intervalida mahsulotlarning jarayonga ta'siri, parchalanishi va tiklanishi



Rasm. 10. Tiklovchi gazlar bilan rux keklarini velsevlashda haroratning pech uzunligi ($L50 \times d3,5m.$) bo'ylab o'zgarishi

Rux keki tarkibidagi oksidli birikmalarni qattiq tiklovchilar bilan tiklash jarayonida oksidlarning tiklanishi qay usul bilan kechishini o'rganish bo'yicha

izlanishlar natijasiga ko'ra tiklanish adsorbsion-avtokatalitik nazariyasi bo'yicha tiklovchi gazning oksidlar sirtiga adsorbsiyalanishi va kislorod bilan bog'lanib tiklangan metall yuzasidan ajralib chiqishi bilan kechishi aniqlandi.

Qilingan termodinamik tahlilga ko'ra, 750 – 850 °C haroratlar oralig'ida rux ferritining tiklovchi gazla ishtirokida tiklanish reaksiyasining muvozanat doimiyligi qiymati yuqori bo'ldi. Bu holat tiklanish reaksiyasining amalda oqib o'tish ehtimolligi ancha yuqori ekanligini bildiradi.

Dissertatsiyaning **“Rux keklarini qayta ishlash jarayonining asosiy texnologik parametrlarini aniqlash tadqiqoti”** deb nomlangan to'rtinchi bobida natijalarni sinovdan o'tkazish, rux keklarini tiklovchi gazlar atmosferasida qayta ishlab, past kislotali sulfat kislotasida yaxshi eriydigan kuyindi mahsulot olish texnologiyasini ishlab chiqarishga joriy qilinishi yoritib berilgan. Dastlab rux keklarini laboratoriya sharoitida quvursimon aylanmali pechda (SNOL-750-LTVP) tiklovchi gazlar bilan tiklovchi kuydirish va gazsimon tiklovchi bilan qattiq mahalliy tiklovchilarni solishtirish maqsadida dinamik rejimda mufel pechida (SNOL-1,6.2,5.1/9-IZ) Sharg'un ko'miri va faollangan ko'mir bilan tiklovchi kuydirish tadqiqotlari olib borildi. Sanoat tajriba sinovlari stasionar rejimda sanoat vels pechida va dinamik rejimda elektr qarshilik pechida (CTH-1,6.50.0,7-4/9-II1) o'tkazildi.

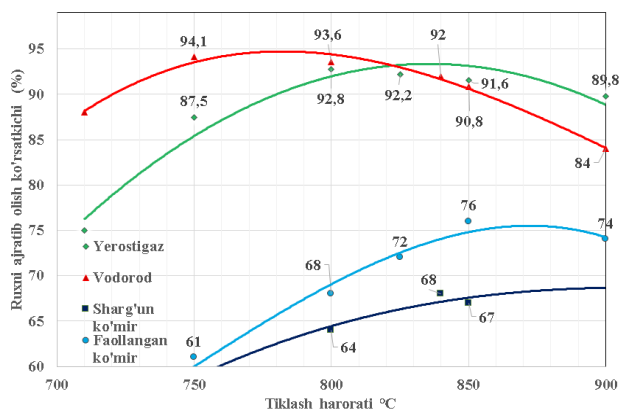
Yanchib, quritilib tayyorlangan -0.1 mm yiriklikdagi rux keklari namunalari quruq holda pechga yuklandi va termodinamik hisobotlar natijasida olingan qiymatlarga asosan harorat 700-900 °C intervalida har 5 birlikka oshirib borildi. Tiklovchi kuydirish davomiyligi 50 daqiqadan 70 daqiqagacha bo'lgan vaqt oralig'ida har 5 daqiqa farq bilan amalga oshirildi. Har bir belgilangan davomiylikda (masalan 60 daqiqa) uch xil 150-200-250 gr massadagi namunalari tiklovchi gazlar miqdorlarining farqi daqiqasiga 1,5-2-2,5 litr miqdorda pechga uzatib turildi. Har bir vaqt intervalida olib borilgan tiklovchi kuydirishdan olingan kuyindi 0,9 litr/min. N₂ gaz oqimi muhitida xona haroratigacha sovitildi. Sovigan kuyindi pechdan chiqarib olinib massasi o'lchandi va bir qismi tahlil qilish uchun yuborildi. Qolgan qismi -100 mkm o'lchamgacha hovonchada yanchilib tanlab eritish tajribasiga yo'naltirildi.

O'tkazilgan tadqiqotlar natijasida selektiv tiklovchi kuydirish jarayonida haroratining (Rasm 11.) va kuydirish davomiyligining (Rasm 12.) ruxni ajratib olish ko'rsatkichiga bog'liqligi grafiklari shakllantirildi.

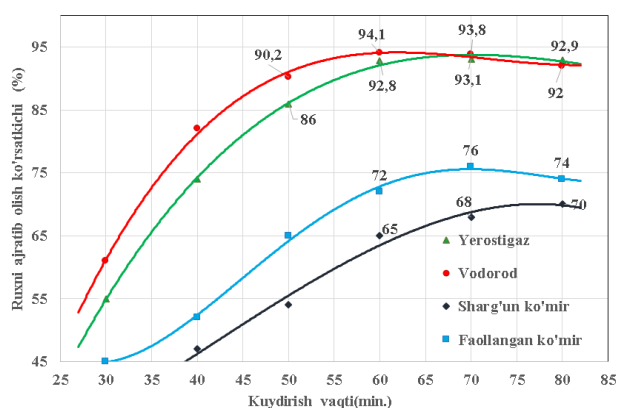
Tiklovchi gazlar yordamida rux keklarini qayta ishlashning sanoat sinov-tajribalari natijasi shuni ko'rsatdiki, reaksiyon sistemada tiklovchi gazlarning sarfi ortishi bilan kekdagi ferrit birikmalari miqdori kamayishi aniqlandi. Selektiv tiklovchi kuydirishning optimal harorati 800 °C etib belgilandi va bu haroratda olingan kuyindi namunasidan ruxni ajratib olish ko'rsatkichi 92,8 % ni tashkil etdi. Kuydirishning harorat oshishi bilan ruxni ajratib olish ko'rsatkichining pasayishi rux oksidining metallik holigacha tiklanishi bilan izohlanadi.

Tiklovchi kuydirish 70 daqiqa davom ettirilganda ruxni ajratib olish ko'rsatkichi eng yuqori qiymatni namoyon etdi. Biroq magnetitning vyustitgacha tiklanishi boshlanganligi sababli va uni tanlab eritish davrida eritmaga o'tishi

hamda tadqiqotning selektiv tiklovchi kuydirish shartini inobatga olib kuydirish davomiyligi 60 daqiqa optimal qilib belgilandi.

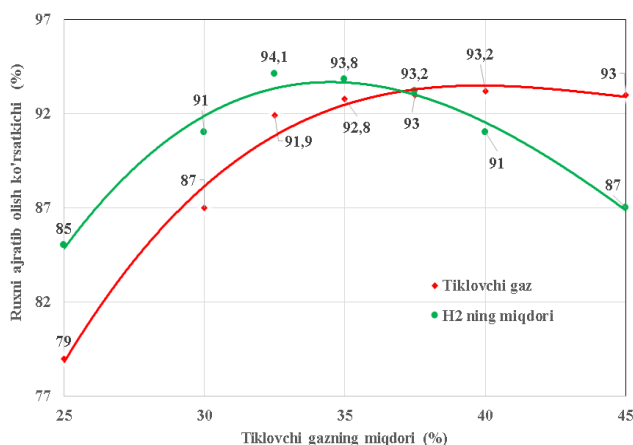


Rasm. 11. Tiklovchi kuydirishda haroratining ruxni ajratib olish ko'rsatkichiga bog'liqligi grafigi

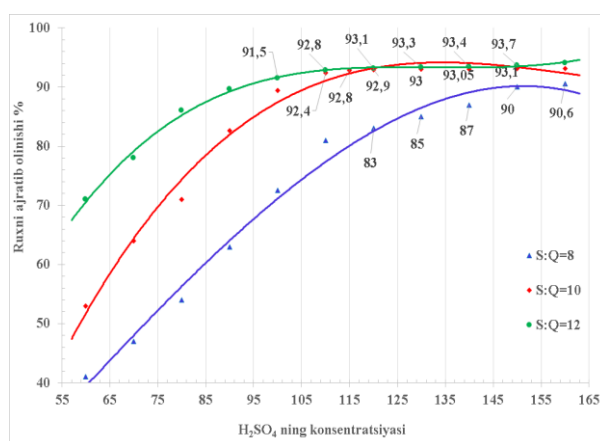


Rasm. 12. 800 °C da selektiv tiklovchi kuydirish davomiyligining ruxni ajratib olish ko'rsatkichiga bog'liqligi grafigi

Selektiv tiklovchi kuydirish jarayonida selektivlikni ta'minlash uchun tiklovchi gazlar miqdorining optimal sarfini aniqlash muhim hisoblanadi. Shu sababli energetik gazlar tarkibidagi tiklovchi gazlarning ulushini termodinamik jihatlarini o'rganilgan reaksiyalarning stehiometrik hisobidan kelib chiqib kek massasiga nisbatan sarflanadigan tiklovchi gazlarning nazariy sarfini aniqlab jarayonga tiklovchi gazlarning miqdori 25 % dan 45 % nisbatlarda berildi. Olingan summali qiymatlar asosida gazlarning optimal miqdorini 35% ligi aniqlandi va diagramma shakllantirildi (Rasm 13.). Gazlar aralashmasida tiklovchi gazning miqdori oshirilganda ruxni ajratib olish ko'rsatkichi deyarli o'zgarishsiz qoldi.



Rasm. 13. 800 °C da selektiv tiklovchi kuydirishda tiklovchi gazlar miqdorining ruxni ajratib olish ko'rsatkichiga bog'liqligi grafigi



Rasm. 14. Tanlab eritishda eritma konsentratsiyasining ruxni ajratib olish ko'rsatkichiga bog'liqligi grafigi

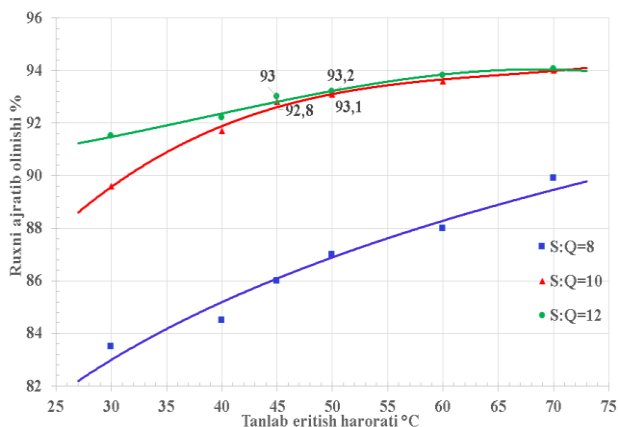
Olingan kuyindini tanlab eritish, eritma konsentratsiyasi, suyuqlikning qattqlikka nisbati, eritmaning harorati, aralashtirish tezligi va tanlab eritish davomiyligi kabi parametrlarni hisobga olgan holda qabul qilingan. Eritmaning konsentratsiyasi 100-150 g/l orasida har 10 g/l oraliq farq bilan, tanlab eritish harorati 40-80 °C gacha har 10 °C oralig'ida, davomiyligi 20-50 daqiqalarda har

10 daqiqa interval bilan tadqiqotlari olib borildi. Suyuqlikning qattqlikka nisbati 6-12 nisbatlarda 2 nisbat farq bilan oshirib borildi. Suspenziyani aralashtirish tezligi daqiqasiga 150-350 aylanada har 50 aylana farq bilan optimal parametrlarni aniqlash uchun tadqiqotlar o'tkazildi.

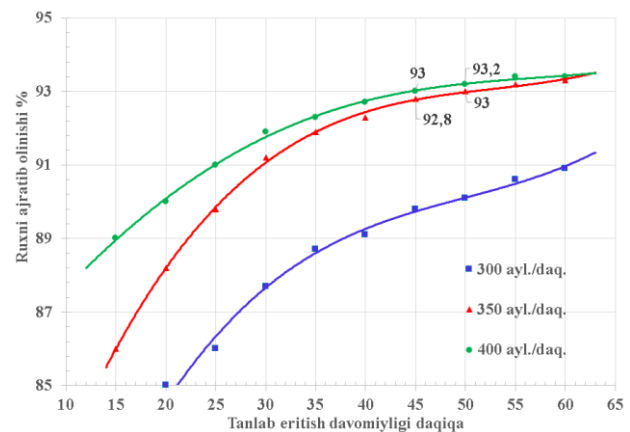
Eritma konsentratsiyasi 115 g/l ga yetganda, S:Q nisbati 10 bo'lganda ruxni ajratib olish 92,8 % ni tashkil etdi (Rasm 14.). Konsentratsiya oshishi bilan ruxni ajratib olish xam oshib bordi biroq bu eritmada temirning miqdori xam ortishiga sabab bo'ldi. Suyuq qattqlik nisbati 12 ga oshirilganda ruxni ajratib olish 93,1% ni tashkil etdi. Lekin bu ko'rsatkichga erishishda S:Q nisbati yuqoriligi sabab eritmaning ortiqcha isrofini keltirib chiqarganligi sababli optimal qilib olinmadi.

Tanlab eritish harorati 45 °C ga yetganda, S:Q nisbati 10 bo'lganda ruxni ajratib olish 92,8 % ni tashkil etdi (Rasm 15.). Tanlab eritishning harorati oshirilganda ruxni ajratib olish 0,3% ga oshdi va shuningdek eritmada temirning ortishiga olib keldi. Lekin bu ko'rsatkichga erishishda eritmaning qattiq mahsulotga nisbati yuqoriligi (12ml/gr) sabab eritmaning ortiqcha isrofini keltirib chiqaradi va ishlab chiqarish unumini deyarli o'zgartirmaganligi sababli optimal qilib olinmadi.

Eritmani aralashtirish tezligi daqiqasiga 350 aylana va S:Q nisbati 10 bo'lganda tanlab eritish davomiyligi 45 daqiqaga yetganda ruxni ajratib olish 92,8 % ni tashkil etdi (Rasm 16.). Tanlab eritish davom ettirilganda ruxni ajratib olish 0,2-0,5 % ga oshdi ammo bu eritmada temirning ortishiga sabab bo'ldi. Biroq bu ko'rsatkichga erishishda eritmani tanlab eritish dastgohining aralashtirish tezligi yuqoriligi (400 ayl./daq.) sabab kuchliroq dastgoh talab etishi shuningdek, suyuq-qattiq mahsulotlar nisbatli yuqoriligi (12ml/gr) sabab eritmaning ortiqcha isrofini keltirib chiqarganligi va ishlab chiqarish unumini pasayishiga olib kelishi sababli optimal qilib olinmadi.



Rasm. 15. Tanlab eritish haroratining ruxni ajratib olish ko'rsatkichiga bog'liqligi grafigi



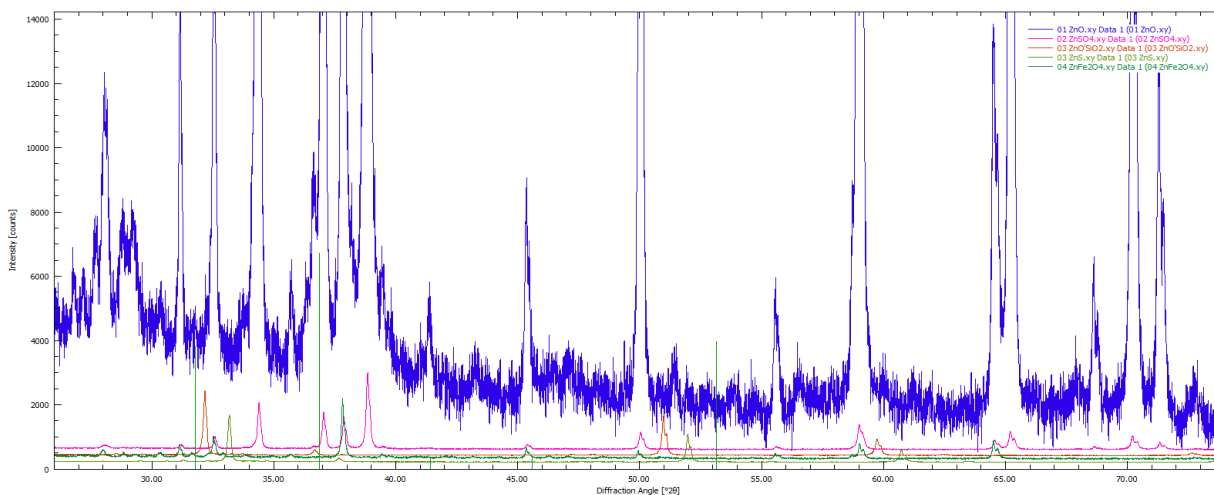
Rasm. 16. Tanlab eritishda eritma konsentratsiyasining ruxni ajratib olish ko'rsatkichiga bog'liqligi grafigi

Dastlab tiklovchi kuydirishdan olingan kuyindining tarkibidagi komponentlarning kuydirish davrida mineralogik va fazaviy tuzilishlarining o'zgarishini aniqlash maqsadida kuyindining fazaviy tarkibi tahlil qilindi. Tahlil natijalari 3-jadvalda va spektrogrammasi 17-rasmda keltirilgan.

3-jadval

Statsionar rejimda tiklovchi kuydirishdan olingan kuyindi tarkibidagi ruxning mineralogik tarkibi

Zn _{um}	ZnO	ZnFe ₂ O ₄	ZnO·SiO ₂	ZnS	ZnSO ₄	Boshqalar
22,5	21,15	0,47	0,15	0,11	0,32	0,29
100	94	2,1	0,65	0,51	1,46	1,28



Rasm. 17. Statsionar rejimda tiklovchi kuydirishdan olingan kuyindining fazaviy tarkibining spektrogrammasi

Kuyindini tanlab eritish tadqiqotlari natijalarining optimal parametrlari barcha eksperimental natijalarga asoslanib shakllantirildi. Konsentratsiyasi 115 g/l va pH=7 va harorati 45 °C bo'lgan kuchsiz kislotada, S:Q nisbati 9 ml/gr bo'lgan suspenziyani aralashtirish tezligi daqiqasiga 350 aylanani tashkil etgan holda 45 daqiqa mobaynida tanlab eritish tadqiqoti uchun optimal parametrlar qabul qilindi. Ushbu parametrlar bilan ruxni eritmaga ajratib olishning ko'rsatkichi 92,8% va temirning eritmaga eng kam o'tish ko'rsatkichi 13,1% optimal qilib belgilandi. Tanlab eritish qoldiqlarining fazaviy tarkibi tahlil qilindi. Tahlil natijalari 4-jadvalda va spektrogrammasi 18-rasmda keltirilgan.

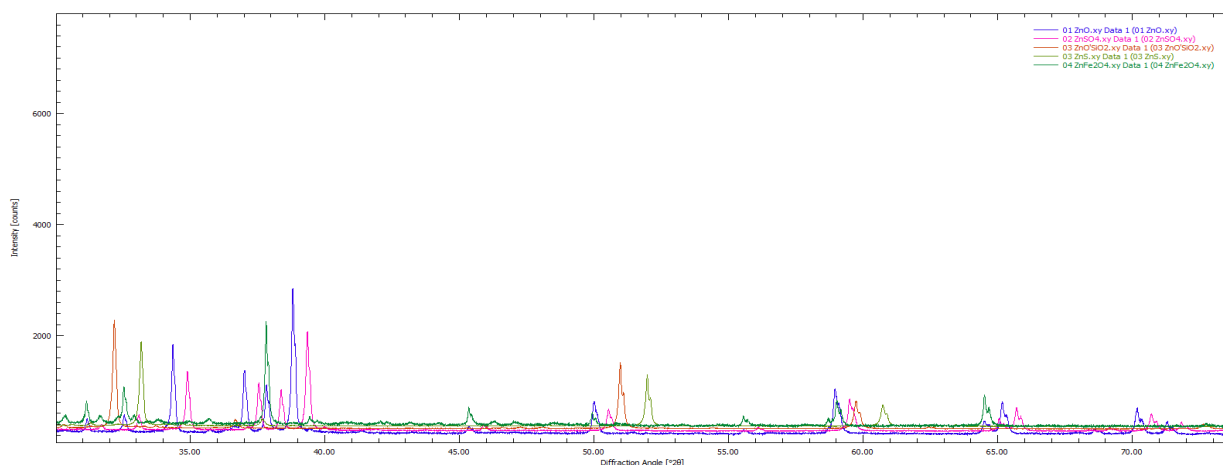
4-jadval

Tanlab eritish qoldiqlarida ruxning fazaviy tarkibi

Zn _{um}	ZnO	ZnFe ₂ O ₄	ZnO·SiO ₂	ZnS	ZnSO ₄	boshqa
1,67	0,41	0,47	0,14	0,11	0,24	0,29
100	24,55	28,11	8,35	6,85	14,28	17,25

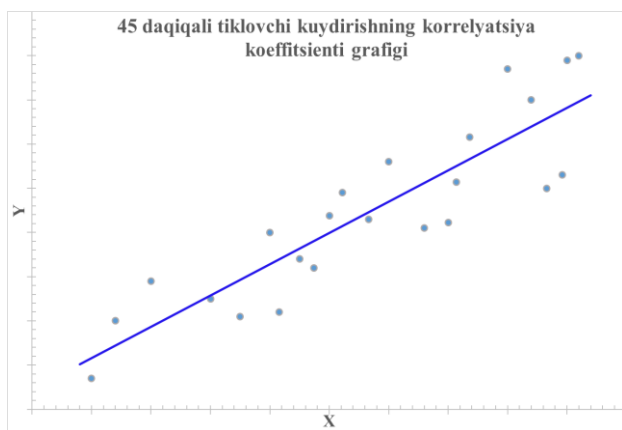
Rux keklarini tiklovchi gazlar atmosferasida tiklovchi kuydirish va hosil bo'lgan kuyindini tanlab eritish eksperimental tadqiqotlari natijalarining oraliq qiymatlarining statistikasi Pirsonning chiziqli korrelyatsiya koeffitsiyentidan foydalangan holda quyidagi formulaga asosan hisoblanadi:

$$r = \frac{COV_{xy}}{s_x s_y} = \frac{\Sigma(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{(n - 1)s_x s_y} = \frac{\Sigma(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\Sigma(X_i - \bar{X})^2 \Sigma(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

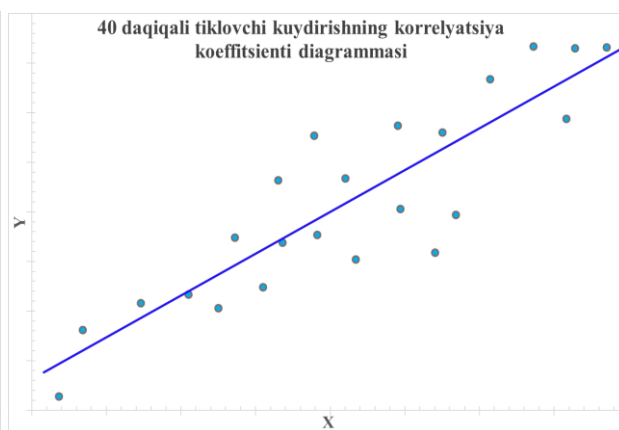


Rasm. 18. Kuyindini tanlab eritish qoldiqlarining fazaviy tarkibining spektrogrammasi

Korrelyatsiya koeffitsiyentini hisoblash uchun tiklovchi kuydirish va kuyindini tanlab eritish jarayonlarining haqiqiy (X) qiymatlaridan foydalanildi. Tiklovchi kuydirish tadqiqoti dastlab 50 daqiqa mobaynida tiklovchi kuydirish jarayonining optimal davomiyligini aniqlash uchun olib borildi. Olingan natijalarga asosan ferritlarning ko‘p miqdorda tiklanganligi aniqlandi biroq yuqori ko‘rsatkichga erishish uchun yana boshqa namunalar yuklanib kuydirish 60 va 70 daqiqa davom ettirildi. 50-70 daqiqa davomiyligida xar 10 daqiqa farq bilan olib borilgan kuydirish natijalari qiymatlaridan haqiqiy qiymatlar sifatida tanlab olindi va 30-80 daqiqalik tiklovchi kuydirish natijalarini modellashtirish uchun foydalanildi. 45 daqiqali tiklovchi kuydirish jarayonining qiymatlarini (Y) aniqlash uchun 50 daqiqali kuydirish jarayonining haqiqiy eksperimental natijalardan (X) foydalangan holda amalga oshirildi (Rasm 19.). Xuddi shu tarzda kuydirish va tanlab eritish jarayonlarining oraliq qiymatlari ham hisoblab chiqildi.



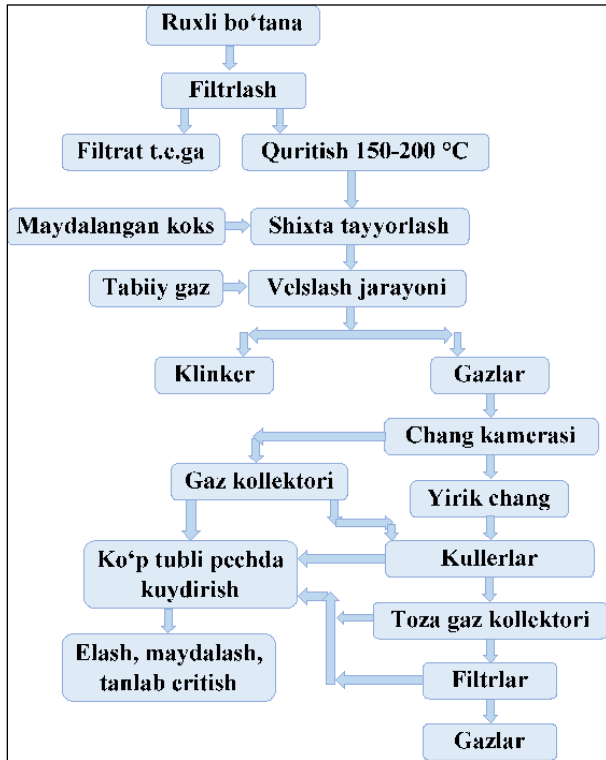
Rasm. 19. 45 daqiqali tiklovchi kuydirishning korrelyatsiya koeffitsiyenti diagrammasi



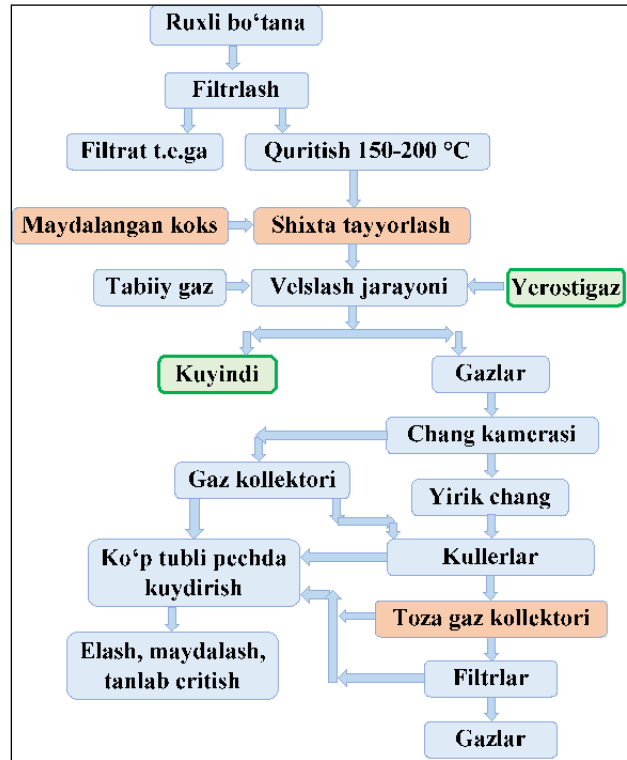
Rasm. 20. 40 daqiqali tiklovchi kuydirishning korrelyatsiya koeffitsiyenti diagrammasi

Qiyosiy tahlil o‘tkazish maqsadida “Olmaliq KMK” AJning an’anaviy rux kekini qayta ishlash sxemasi (Rasm 21.) va ishlab chiqilgan takomillashtirish jarayonining texnologik sxemalari tuzildi (Rasm 22.). Bu texnologiyaning afzalliklari shundan iboratki, taklif etilayotgan jarayon rux keklarini qayta

ishlashda umumiy texnologik sikldan chiqmasdan amalga oshiriladi va shu bilan birga rux keklaridan ruxni ajratib olish darajasi oshadi va import mahsulot hisoblangan koksni mahalliy tiklovchi gazlarga almashtirishga imkon beradi. Bundan tashqari, ushbu texnologiya qo‘shimcha texnik qurilmalar va apparatlarni talab qilmaydi.



21-rasm. OKMK miqyosida rux kekini qayta ishlashning an'anaviy texnologik sxemasi



22-rasm. Rux kekini tiklovchi gazlar yordamida qayta ishlashning taklif etilgan texnologik sxemasi

Rux keklarini tiklovchi gazlar atmosferasida tiklovchi kuydirish usuli orqali qayta ishlash natijasida an'anaviy usul takomillashtirildi. Ya'ni rux kekini pechga solishdan oldin shixta tayyorlash jarayoni va toza gaz kollektori olib tashlangan. O'tkazilgan tadqiqotlar "Olmaliq KMK" AJda rux keklarini qayta ishlash bo'yicha kam chiqindili texnologiyani ishlab chiqish, ishlab chiqarish sharoitida sinovdan o'tkazish va joriy etish imkonini beradi.

XULOSA

“Rux ishlab chiqarish texnogen chiqindilarini qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish” mavzusidagi dissertatsiyasi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar natijalari asosida quyidagi xulosalar taqdim etilgan:

1. Rux ishlab chiqarishda hosil bo‘lgan texnogen chiqindi rux keking kimyoviy, fazaviy tarkibi (20-25% Zn) va xossasi aniqlandi hamda uni qayta ishlashning texnologiyalari ishlab chiqildi. Bu texnologik reglamentlarni o‘zgartirmaslik imkonini beradi;

2. Dastlab rux kekidan rux va boshqa qimmatbaho komponentlarni ajratib olishning samarali usulini ishlab chiqish maqsadida, kukunsimon rux keki bilan mahalliy tiklovchi gazlarning kekda ferritni parchalanish darajasiga ta’siri aniqlandi. Olingan ma’lumotlar rux kekini qayta ishlash haroratini 30 % ga pasaytirish orqali an’anaviy texnologiyani takomillashtirish uchun xizmat qiladi;

3. Ruxni kek bilan isrofini kamaytirish maqsadida kukunsimon kekni kuchsiz tiklovchi gazlar atmosferasida qayta ishlash jarayoni uchun tiklovchi gazlarning sarflanadigan optimal miqdori 35% ni tashkil etishi aniqlandi. Bu ma’lumotlar kekni kuydirishda kuchsiz tiklovchi muhitni ta’minlash uchun xizmat qiladi;

4. Kukunsimon rux kekini quvur aylanmali pechda tiklovchi gazlar atmosferasida kuchsiz selektiv tiklovchi kuydirish usuli ishlab chiqildi. Bu ma’lumotlar asosida 800 °C haroratda 60 daqiqa davomida tiklovchi kuydirishni amalga oshirish muhim ahamiyat kasb etadi;

5. Energetik gazlar tarkibidagi tiklovchi gazlarning kek tarkibidagi shpinel tuzilishli ferritlarni tiklashda jarayonda kuchsiz tiklovchi muhitni ta’minlash uchun tiklovchi gazlarning optimal miqdori va tiklovchi kuydirish harorati hamda inert muhit rux oksidi va temir III oksidiga (vyustit) qadar tiklangan rux ferritni yana qayta hosil bo‘lishini oldini olish uchun xizmat qiladi;

6. Kuchsiz tiklovchi kuydirish jarayonidan olingan kuyindi tarkibidagi kerakli komponentlarni eritmaga o‘tishida selektivlikka erishish uchun past kislotali tanlab eritish texnologiyasi ishlab chiqildi. Natijada eritmaning haroratini 12 % ga, konsentratsiyasini 17g/l ga pasaytirishga erishiladi;

7. Rux keklarini tiklovchi gazlar bilan qayta ishlashning tavsiya etilayotgan texnologiya bo‘yicha, kuyindini tanlab eritishdan so‘ng ruxni eritmaga ajratib olish darajasi 92,8 % ni tashkil etdi. Buning natijasida tanlab eritish qoldig‘idagi ruxning miqdorini klinkerda qolib ketadigan rux miqdori bilan solishtirganda 1,65 % dan 1,47 % gacha kamaytirish imkoni paydo bo‘ladi.

8. Rux keklarini kuchsiz tiklovchi gazlar atmosferasida kuydirish texnologiyasini joriy qilish natijasida texnologik sxemadan ikkita jarayonni qisqartirish va koksni mahalliy tiklovchi gazlarga almashtirish hisobiga yiliga 513 623 000 so‘m iqtisodiy samaraga erishiladi.

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

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ИСМАИЛОВ ЖАНИБЕК БАХАДИРОВИЧ

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ
ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ЦИНКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

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

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО
ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент– 2025

Тема диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан под номером В 2022.3.PhD/Т3102.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

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

Научный руководитель:	Бердияров Бахриддин Тиловкабулович доктор технических наук, доцент
Официальные оппоненты:	Норхуджаев Файзулла Рамазонович доктор технических наук, профессор
	Самадов Алишер Усманович доктор технических наук, профессор
Ведущая организация:	Алмалыкский филиал НИТУ МИСиС

Защита диссертации состоится на заседании Ученого совета DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 при Ташкентском государственном техническом университете в 2025 г. «08» ноября часов 14:00. (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 (зарегистрирован под номером 47). (Адрес: 100095, г. Ташкент, Алмазарский район, ул. Университетская, 2. Тел./факс: (99871) 227-10-32).

Автореферат диссертации разослан «23» октября 2025 года.
(протокол рассылки № 193 от 10 октября 2025 г.).

К.А.Каримов
Председатель Научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

Ш.Б.Ташбулатов
Учёный секретарь Научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент

Н.Д.Тураходжаев
Председатель научного семинара при Научном совете по присуждению ученых степеней, доктор
технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется вопросам переработки техногенных отходов, образующихся при производстве цинка. При переработке техногенных отходов особое значение приобретает экономия содержащихся в них металлов и извлечение из них цинка. Наряду с этим, одной из важных задач является исследование физико-химических процессов, происходящих при растворении цинка путем гидрометаллургического растворения на основе совершенствования технологии переработки техногенных отходов. В связи с этим в мире проводятся обширные научные исследования, в том числе в таких странах, как США, Япония, Россия, Австралия, Швеция, Китай, Перу, Индия, Мексика и Канада, где особое внимание уделяется извлечению цинка из остаточного кека при переработке техногенных отходов, образующихся при производстве цинка, совершенствованию гидрометаллургических и термических методов их переработки.

В мире проводится ряд научных исследований, направленных на совершенствование технологий, основанных на комбинированном методе переработки отходов цинкового производства, то есть сначала пирометаллургических, а затем гидрометаллургических методов переработки. В частности, проводятся научные исследования, направленные на восстановление цинковых кеков углеродсодержащими твердыми восстановителями, сульфатирующим обжигом, восстановлением оцинкованным железом и цинковым концентратом, обжигом в присутствии водяного пара. В этом направлении, в частности, проводятся научные исследования по извлечению благородных металлов на основе бесцианидной обработки, высокотемпературному выщелачиванию, обогащению с последующим обжигом методом флотации и совершенствованию теплотехнического режима печи, моделированию изменения кинетического режима восстановительного обжига. Наряду с этим, ученые мира в этой области одной из актуальных задач считают совершенствование метода низкотемпературного обжига с использованием газообразных восстановителей и растворения с использованием углеводов.

В то время как концентраты, используемые для производства цинка в нашей стране, поставляются периодически, разрабатываются мероприятия по повышению эффективности извлечения цинка путем перевода его на непрерывный производственный процесс и предотвращению потерь цинка и других ценных элементов концентрата с отходами. В Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы в частности, поставлены задачи «сократить объемы выбросов вредных газов в атмосферный воздух на 20% к 2026 году за счет активного внедрения технологий «зеленой экономики» во всех отраслях, установить экологические требования и стандарты охраны окружающей среды в металлургической промышленности на основе международных стандартов, обеспечить непревышение экологических норм по выбросам загрязняющих веществ, увеличить виды продукции с высокой

добавленной стоимостью за счет глубокой переработки цинка и меди» , в том числе путем низкотемпературной переработки цинковых кеков по сравнению с традиционным методом вельцевания и использования восстановительных газов, которые быстрее адсорбируются на поверхности оксидов металлов в кеке, а не за счет углерода в составе твердого восстановителя, и уменьшить количество отходящих газов в процессе.

Данное диссертационное исследование в определенной 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,” Постановлении Президента Республики Узбекистан от 24 января 2022 года № ПП-99 “О мерах по созданию эффективной системы развития производства и расширения промышленной кооперации в республике,” Указе Президента Республики Узбекистан от 30 октября 2019 года № УП-5863 “Об утверждении Концепции охраны окружающей среды Республики Узбекистан до 2030 года,” Постановлении Президента Республики Узбекистан от 27 апреля 2018 года № ПП-3682 “О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов,” Постановлении Президента Республики Узбекистан 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 приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики: II. “Энергетика, энерго- и ресурсосбережение”.

Степень изученности проблемы. Ученые по всему миру провели множество исследований с целью усовершенствования технологии переработки кеков, образующихся при производстве цинка. Ведущие зарубежные ученые, в том числе Цзян Г., Пэн Б., Лян И., Чай Л., Ван Цюй, Ли Цюй, Ху М., преуспели в создании технологии извлечения таких металлов, как цинк, марганец, медь и кадмий, путем обработки кека методом сульфатизирующего обжига и последующего его выщелачивания. Научные исследования Душан Д., Милош Б., Драган В., Лучевой Б., Илиева П., Стефановой В., Ангелова Т., Янковой Т., Ранчева М., Вылчановой И., Григоровой И., Нишкова И. посвящены безцианистой гидрометаллургической переработке кеков цинкового производства. В результате удалось снизить содержание серебра, меди и свинца в кеке, отправляемом на вельцевание. Ли М., Пэн Б., Чай Л., Ван Дж., Пэн Н., Янь Х. разработали метод переработки кеков цинкового производства с использованием восстановителей, что привело к улучшению качества остаточных продуктов, образующихся в обжиговых печах за счет разрушения ферритной структуры и магнитного разделения железа.

Ученые СНГ Клейн С.Е., Казлов П.А., Набойченко С.С., Шиврин Г.Н., Казанбаев Л.А., проводившие научную работу по оптимизации процессов

переработки кеков цинкового производства, добились повышения производительности производства за счет изменения теплотехнических режимов работы печей восстановления кеков. Паньшин М.А., Анисимова О.С., Мамяченков С.В., Рогожников Д.А. добились высоких показателей выщелачивания оксидов железа, меди и свинца путем установления кинетических закономерностей перехода попутных элементов в раствор при выщелачивании огарка, полученного в результате процесса вельцевания цинкового кека. Мальцев В.А., Видуецкий М.Г., Паншин А.М., Пургин А.П., Гарифулин И.Ф. и Гейхман В.В. обогащали цинковые кеки флотацией перед вельцеванием, частично разделяя цинк, серебро и серу в сульфидной форме. Также разработана технология высокотемпературного выщелачивания цинковых кеков Холикуловом Д.Б., Якубовым М.М., Абдукадыровым А.А., Маматкуловым Н., Мухамеджановой Ш.А. и другими, которые проводили исследования в Узбекистане по совершенствованию технологии переработки кеков цинкового производства. Абдурахмонов С., Турапова М.С., Абдукаримова Н., Холикулов Д.Б., Самадов А.У., Болтаев О. и др. определили оптимальные параметры, способствующие извлечению ценных компонентов из цинковых кеков путем их обжига в присутствии водяного пара.

Несмотря на то, что в области совершенствования переработки кеков цинкового производства достигнуто множество научных результатов, все еще остается много нерешенных проблем. Выщелачивание цинковых кеков приводит к образованию большого количества железного осадка и требует специальной технологии его переработки; окисление и осаждение железа при нейтральном выщелачивании кеков отрицательно влияют на свойства осадка, получаемого в результате тонкой гидролитической очистки раствора сульфата цинка, фильтрации, кинетику процесса и технологические показатели процесса осаждения; золото в кеке остается в осадке при безцианистом выщелачивании пирометаллургическая переработка шпинелидного феррита цинка требует больших затрат энергии и ресурсов; и необходимо разработать способ извлечения полезных и ценных компонентов из кека без образования клинкера при восстановлении кеков в металлургических печах. Факторы, препятствующие образованию клинкера (жидкого слоя) путем разрушения ферритов и силикатов в процессе переработки кека, не были в достаточной степени выявлены. Для решения вышеперечисленных проблем необходимо максимально снизить количество ферритов в системе кек-восстановитель, минимизировать количество цинка в кеке, а также разработать более эффективную технологию переработки кеков цинкового производства в связи с высокой стоимостью используемых восстановителей или провести исследования по дальнейшему совершенствованию существующих технологий.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертация выполнена в рамках плана НИР Ташкентского государственного технического университета № АЛ–

592102410 по теме «Исследование эффективных технологий и оборудования для кондиционирования полезных ископаемых при флотации на основе межфазных микро-нанопузырьковых групп» (2023 г.), хоздоговор № 63-172 юр х/ш 5/20 по теме «Анализ вещественного состава вторичных техногенных продуктов АО «Алмалыкский ГМК» для определения ресурсов редких, рассеянных, благородных, цветных и черных металлов» (2020-2021 гг.), а также научно-исследовательской работы по теме «Разработка технологий, обеспечивающих ресурсо- и энергоэффективность при переработке вторичных техногенных отходов и местного минерального сырья», выполняемой профессорско-преподавательским составом кафедры «Металлургия».

Цель исследования: совершенствование технологии переработки техногенных отходов производства цинка.

Задачи исследования: анализ данных о свойствах техногенного отхода кека цинкового производства и существующих технологиях его переработки;

изучение степени разложения феррита при взаимодействии локальных восстановительных газов с пылевидным кеком при различных температурах с целью разработки эффективной технологии извлечения цинка и других ценных компонентов из цинкового кека;

определение расхода газа и продолжительности обжига для обеспечения слабо селективной-восстановительной среды путем восстановления ферритов шпинельной структуры в кеке, восстановительных газов, содержащихся в энергетических газах;

определение оптимальных параметров выщелачивания огарка в низкотемпературной и слабокислой среде, образующейся при обжиге цинковых кеков в слабовосстановительной среде.

Объектами исследования являются техногенные отходы – кеки, образующиеся при нейтральном выщелачивании огарка, получаемого при окислительном обжиге сульфидных цинковых концентратов, и местные энергетические газы, содержащие восстановительные газы, а также твердые восстановители, содержащие углерод.

Предметом исследования является повышение производительности цинкового производства; предлагается усовершенствовать технологию извлечения цинка путем переработки остаточных кеков пирометаллургическим методом с первоначальным селективным восстановлением, а затем выщелачивание полученного огарка в слабокислой и низкотемпературной среде гидromеталлургическим методом.

Методы исследования. Используются современные, теоретические и экспериментальные методы исследования, гранулометрические, термодинамические методы анализа цинкового кека. В процессе исследования использовались методы титриметрической и энергодисперсной спектроскопии в сканирующих электронных микроскопах для определения химического состава цинкового кека и огарка восстановительного обжига и зернистости металлов в них. Для качественного анализа минералогического

состава цинкового кека, огарка восстановительного обжига, остатка выщелачивания использовали метод рентгеновского дифрактометра. Термодинамические значения процессов восстановления были получены с помощью программного метода FactSage.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработан метод низкокислотного выщелачивания огарка, полученного в процессе селективного восстановительного обжига в атмосфере восстановительных газов в трубчатой вращающейся печи, основанный на изменении температуры и концентрации раствора;

разработан метод извлечения цинка из цинкового кека на основе определения критических точек динамики изменения восстановительных свойств восстановительных энергетических газов в зависимости от температуры;

определено, что восстановление феррита и сульфата цинка, составляющих основу кека, в слабо-восстановительной среде в результате взаимодействия цинкового кека с восстанавливающими газами, такими как угарный газ, водород и метан, в местных энергетических газах приводит к восстановлению оксида цинка, магнетита, оксида железа II и серного ангидрида;

определено, что при переработке сухого порошкообразного цинкового кека в среде восстанавливающих газов в системе восстанавливающего газа и цинкового кека на поверхности феррита со шпинельной структурой в кеке адсорбируются метан и водород при температуре 500-590 °С;

разработан метод низкотемпературного кислотного выщелачивания огарка, полученного в процессе восстановительного обжига на основе тепловых параметров, выделяющихся в результате протекания химических реакций, влияющих на изменение температуры раствора.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана технология восстановительного обжига цинкового кека в среде слабо восстановительных газов с использованием энергетических газов, содержащих 35% восстановительных газов в трубчатой вращающейся печи;

разработан низкотемпературный метод селективного восстановительного обжига при 800 °С за счет снижения температуры обработки кека на 30% по сравнению с традиционным методом вельцевания для восстановления ферритов цинка в цинковом кеке в процессе восстановительного обжига;

разработан метод низкотемпературного и слабокислого (pH=7) выщелачивания огарка, полученного в процессе обжига в слабо-восстановительной среде путем снижения температуры раствора на 12% и концентрации на 17 г/л;

достигнуто снижение содержания цинка в остатке выщелачивания с 1,65% до 1,47% за счет увеличения степени извлечения цинка в раствор на 92,8% при выщелачивании огарка.

Достоверность результатов исследования подтверждается:

большим количеством экспериментальных исследований, проведенных при переработке кеков цинкового производства, полученных на основе четко определенных задач, а также обработкой результатов, полученных на основе термодинамических расчетов, анализом химического состава и минералогической структуры цинка, меди, железа, золота, серебра, кадмия, свинца, кремния и других компонентов в кеке, показателями физико-химических свойств, определенных на основе использования современной техники и технологий, а также сравнением с экспериментальными результатами.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований заключается в том, что цинковый кек реагирует с восстановителями в ходе начального восстановительного процесса обжига, при котором газообразный восстановитель первоначально адсорбируется на поверхности феррита, с последующим выделением кислорода из окисленного соединения. Выделение этого выделившегося кислорода соединяется с адсорбированной молекулой монооксида углерода с образованием диоксида углерода и новой фазы. Выделение образовавшегося диоксида углерода с поверхности оксида приводит к восстановлению феррита цинка до оксида цинка и магнетита, увеличению концентрации восстановительных газов при продувке газов в печь для ускорения реакций восстановления ферритов без повышения температуры в слое. Обжиг цинкового кека в инертной атмосфере восстановительных газов приводит к обжигу частиц кека и уменьшению количества ферритов в нем, в результате чего увеличивается дисперсность кека и уменьшается плотность, в процессе обжига при пониженной температуре не образуется жидкая фаза, а цинк в феррите цинка восстанавливается до хорошо растворимого оксида цинка при выщелачивании в низкотемпературной и слабокислой среде растворителя и ускоряется осаждение богатых нерастворенным железом остатков на дно выщелачивающего станка.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что повышение степени извлечения цинка в раствор при переработке кека путем обжига и выщелачивания огарка в процессе восстановительного обжига полностью ограничивает использование кокса, поступающего в качестве импортного продукта при переработке пылевидного кека в атмосфере восстановительных газов и снижение температуры обжига на 350 °С. А использование энергетических газов, содержащих восстановительные газы, в качестве восстановителя снижает затраты на переработку кека, обеспечивает селективность по отношению к цинку при гидрометаллургической переработке огарка, образующегося при восстановительном обжиге кека, снижая температуру на 10-15 °С. Также обесцинкованные остатки, образующиеся при выщелачивании, направляются на конвертерный передел медеплавильного завода для извлечения ценных компонентов, при этом для проведения исследований не требуется

дополнительного оборудования и не допускаются отклонения от технологической схемы производства цинка.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по усовершенствованию технологии переработки техногенных отходов цинкового производства:

На цинковом заводе АО “Алмалыкский ГМК” внедрена технология повышения извлечения цинка путем разрушения структуры ферритов путем переработки цинковых кеков в атмосфере восстановительных газов и их выщелачивания в низкотемпературной слабой кислоте, а также извлечения меди и благородных металлов из остаточного продукта. (Справка АО "АГМК" № SL-001074 от 4 ноября 2024 г.). В результате создана возможность использования энергетических газов, содержащих 35% восстановительных газов, а также осуществления восстановительного обжига при 800°C;

На цинковом заводе АО “Алмалыкский ГМК” внедрена технология слабокислотного выщелачивания огарка, полученного в процессе селективного восстановительного обжига в атмосфере восстановительных газов во вращающейся трубчатой печи. (Справка АО "АГМК" № SL-001074 от 4 ноября 2024 г.). В результате внедрения достигнуто снижение температуры раствора на 12%, концентрации на 17 г/л;

На цинковом заводе АО “Алмалыкский ГМК” внедрена технология выщелачивания огарка восстановительного обжига при температуре раствора 45 °С и концентрации 115 г/л, обеспечивающая селективность компонентов в огарке и степень извлечения цинка в раствор 92,8% (Справка АО "АГМК" № SL-001074 от 4 ноября 2024 г.). В результате содержание цинка в остатке выщелачивания снизилось с 1,65% до 1,47%.

Апробация работы. Результаты исследований диссертации обсуждались на 3 международных и 4 республиканских научно-практических конференциях и симпозиумах.

Опубликованность результатов исследований. Всего опубликовано 21 научная работа по теме диссертации. В научных изданиях, рекомендованных к публикации ВАК Республики Узбекистан основных научных результатов докторских диссертаций, опубликовано 8 статей, в том числе 5 в республиканских и 3 в зарубежных журналах.

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

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность проведенного исследования по диссертационной работе, определены цели и задачи исследования, объект и предметы исследования, указано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и техники Республики Узбекистан, изложены научные новизна и практические результаты

исследования, обоснована их достоверность, раскрыта научно-практическая значимость полученных результатов, показана апробация работы, приведены сведения о внедрении в практику результатов исследования по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Современное состояние цинкового производства и перспективы переработки цинксодержащих техногенных отходов**» проанализировано современное состояние и технологии цинкового производства, а также существующие технологии переработки техногенных отходов цинкового производства и их усовершенствование, а также современное состояние внедрения безотходных технологий за счет извлечения ценных компонентов из кека. Согласно обзору исследований зарубежных и отечественных ученых, наличие в цинковых концентратах сульфидных железосодержащих минералов и их пирометаллургический обжиг, а также усиление автогенности процесса обуславливают превышение температуры указанного уровня. Это приводит к образованию ферритов при окислительном отжиге. Ферриты в огарке образуются в виде осадочных кеков в процессе гидрометаллургической переработки, и полностью предотвратить образование этих кеков практически невозможно. Иногда выход кека, образующегося после выщелачивания, составляет 35–40% по сравнению с огарком.

По оценкам международных экспертов, ожидается, что к 2030 году спрос на цинк увеличится в 1,4 раза по сравнению с 2015 годом (рис.1). Примером такого роста цен на цинк к 2030 году является дальнейшее развитие ведущих отраслей промышленности, которым требуется металлический цинк (рис.2).



Рис. 1. Прогноз мирового потребления цинка до 2030 года



Рис. 2. Отрасли, в которых цинк используется таким образом, что его практически невозможно заменить

При обзоре литературы по переработке цинкового кека она была разделена на такие направления, как гидрометаллургический, флотационный, пирометаллургический, экстракционный и комбинированный методы. Использование различных растворителей и экстрагентов в результате гидрометаллургических и экстракционных методов приводит к высоким капитальным затратам, а накопление больших объемов остаточных продуктов требует дополнительных методов переработки. Исключение

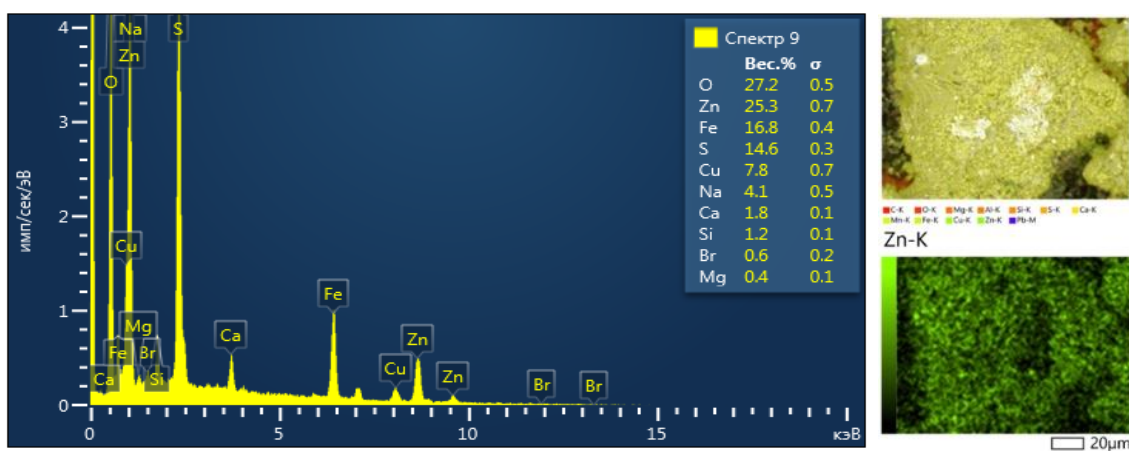
использования кокса, который в больших количествах добавляется в качестве восстановителя при традиционном пирометаллургическом способе (вельцевание), облегчение извлечения ценных компонентов из кека за счет предотвращения образования клинкера, поддержка «зеленых технологий» за счет снижения образования отходящих газов считаются важными задачами не только в нашей республике, но и в производственной промышленности зарубежных стран.

Во второй главе диссертации «**Выбор объектов и методов исследования усовершенствования технологии переработки кеков цинкового производства**» описан выбор объектов исследования. Представлены анализы химического и фазового составов, отобранных для исследования техногенных отходов цинкового кека, а также использованы современные методы и оборудование для изучения их химических и физических свойств. В качестве основных объектов исследования были выбраны цинковые кеки цинкового завода АО «Алмалыкский ГМК». Для снижения количества ферритов в кеках предложено вместо твердого углеродсодержащего восстановителя использовать восстановительный газ. В качестве восстановительного газа использованы энергетические газы, полученные при подземной газификации угля на Ангренском угольном разрезе, в составе которых присутствуют восстановительные газы. Основными исследуемыми веществами были водород, монооксид углерода, метан, феррит цинка ($ZnFe_2O_4$), магнетит (Fe_3O_4) и сульфат цинка ($ZnSO_4$). Химический состав цинкового кека приведен в табл. 1, а спектрограмма — на рис. 3.

Таблица 1

Химический состав цинкового кека

Образцы	(количество %)											
	Zn	Cu	Fe	Ca	S	Pb	Si	Al	Mg	O ₂	Cd	другие
№1	22,05	2,63	17,14	1,66	8,62	3	1,06	0,57	0,30	37,70	0,3	4,97
№2	25,32	7,82	16,77	1,82	14,60	2	1,23	-	0,41	27,25	0,2	2,58



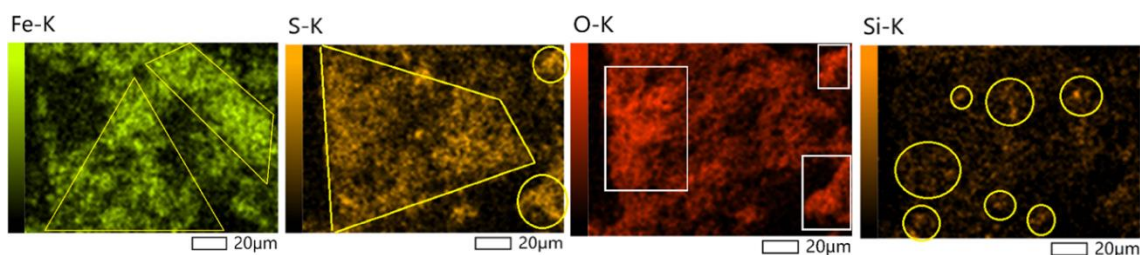


Рис. 3. Анализ EDS для изучения всей поверхности цинкового кека (метод картирования)

Для получения полной информации о минералах, входящих в состав исследуемого цинкового кека, образец кека был подвергнут рентгенофазовому анализу. Результаты анализа представлены в табл. 2, а его общая дифрактограмма на рис.4.

Таблица 2

Минералогический состав цинка и железа в кеке

Образцы	(количество %)						
	Zn _{um}	ZnO	ZnFe ₂ O ₄	ZnO·SiO ₂	ZnS	ZnSO ₄	другие
Содержание цинка	22,89	2,54	8,45	1,96	1,87	8,07	8,07
Распределение %	100	11	37	8,5	8,2	35,3	35,3
	Fe _{um}	FeO	ZnFe ₂ O ₄	Fe ₃ O ₄	FeS ₂	ZnSO ₄	другие
Содержание железа	16,72	0,69	13,97	1,04	0,50	0,07	0,46
Распределение %	100	4,13	83,55	6,22	2,99	0,42	2,75

Рентгенодифрактометрический спектральный анализ минералогической структуры цинка в исследуемом цинковом кеке (рис. 4) подтверждает значения, представленные в табл. 2.

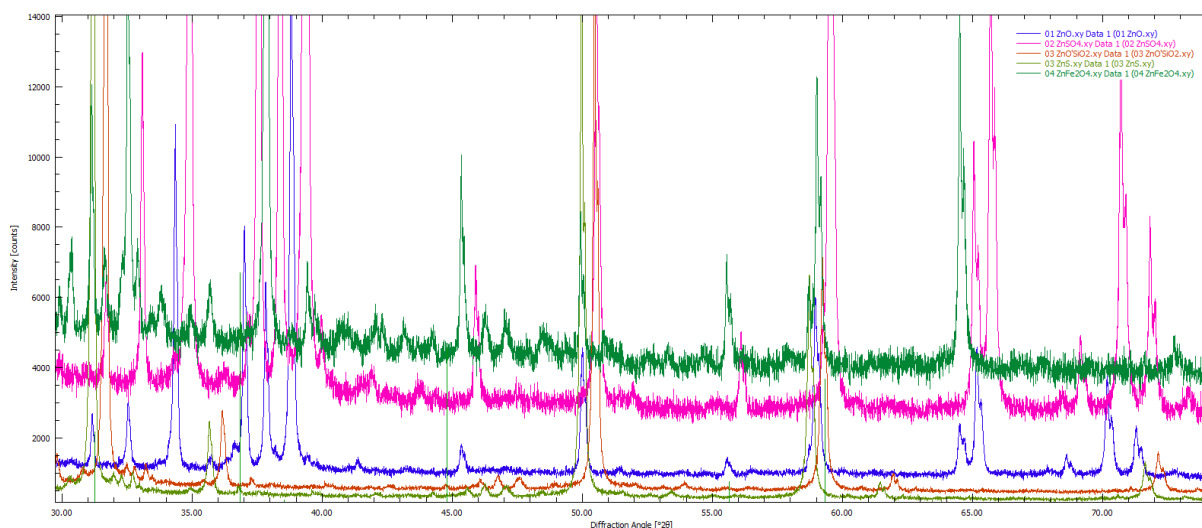


Рис. 4. Рентгенодифрактометрический спектр фазового состава цинка в цинковом кеке

В качестве инертной восстановительной среды использовались энергетические газы, полученные при газификации угля месторождения «Еростигаз» АО «Узбеккумир». Средний химический состав энергетических газов %: CO — 4.6, CO₂ – 22.1, H₂ – 19.2, CH₄ – 3.0, H₂S – 0.5, N₂ – 50,1, O₂ – 0.5, C_nH_m – 0.2.

В третьей главе диссертации «**Определение основных технологических параметров переработки цинковых кеков в слабо-восстанавливающей газовой атмосфере**» приведены сведения об исследованиях по выявлению и анализу основных факторов, влияющих на минералогическую структуру цинка в сухих порошкообразных цинковых кеках и их сохранение в кеке в процессе переработки, изучению термодинамических аспектов восстановительных реакций, протекающих в системе кек – восстановительный газ при переработке кеков в атмосфере слабовосстановительных газов, выявлению и анализу причин, по которым процесс восстановления протекает в сложных реакционных условиях.

Проанализированы термодинамические аспекты процесса получения огарка оптимального состава путем переработки оксидов металлов, содержащихся в цинковых кеках, методом восстановительного обжига в смеси восстановительных газов. Установлены химические реакции и механизм процессов восстановления феррита цинка шпинельной структуры и магнетита, вюстита, а также оксидов и сульфатных соединений цинка, образующихся при восстановлении феррита в кеках цинкового производства в присутствии водорода, монооксида углерода и метана, содержащихся в энергетических газах. Изучено влияние повышения температуры на изменение значений энергии Гиббса (рис. 5) и константы равновесия (рис. 6) в химических реакциях восстановления оксидов металлов в порошкообразном цинковом кеке с использованием восстановительных газов. Все эти реакции восстановления имеют положительные показатели. То есть все химические реакции протекают на практике. Начальная температура восстановления феррита цинка составляет 500-600 °С. Полученные в результате термодинамического анализа водородотермических, метанотермических и карботермических реакций значения результатов и выводы, сделанные на основе этих значений, были сопоставлены с экспериментальными результатами, полученными на производстве, и было обнаружено, что эти значения полностью соответствуют друг с другом.

Разработан логичный и простой механизм процесса восстановления феррита в составе порошкообразного кека с восстановительными газами, и на основе этого механизма изучены термодинамические аспекты химических реакций, протекающих на границах контакта феррит-восстановительный газ.

Термодинамические расчеты для стандартных условий показывают, что самые быстрые химические реакции в реакционной системе 2,6,7,10 являются экзотермическими и могут протекать независимо в стандартных условиях (необходимо только подвести энергию активации). Однако реакции 1,3,4,5,8,9,11,12 являются эндотермическими и их свободные энергии в стандартных условиях имеют положительные значения. Это означает, что эти реакции не происходят спонтанно в стандартных условиях. Для осуществления этих реакций необходимы высокие температуры.

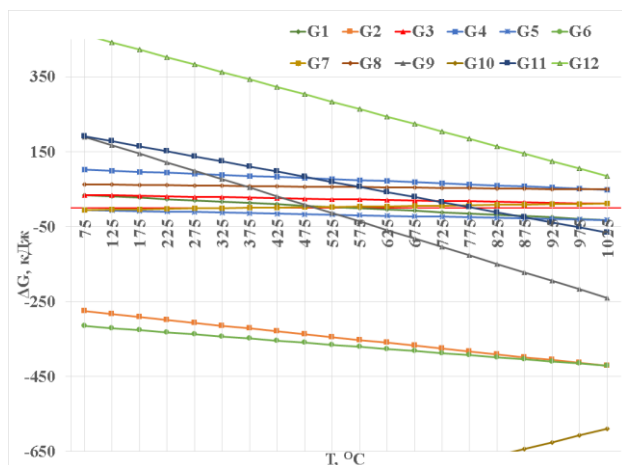


Рис. 5. Общая диаграмма Эллингама восстановительных реакций, происходящих в системе цинкового кека и восстановительного газа

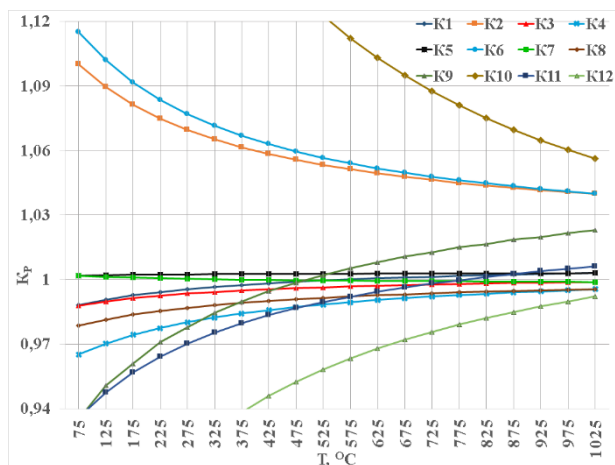


Рис. 6. График изменения константы равновесия в зависимости от температуры при восстановлении цинкового кека восстановительными газами

Поскольку среди всех водородотермических, карботермических и метанотермических реакций, протекающих в системе оксид-водород, монооксид углерода и метан (12,9,11,4), наиболее медленной (лимитирующей) реакцией является реакция восстановления оксида цинка водородом, то оптимальная температура системы для полного протекания реакции определяется температурой реакции восстановления оксида цинка.

Однако, поскольку целью исследования было восстановление цинковых кеков в атмосфере газов со слабыми восстановительными свойствами, не предполагалось, что оксид цинка и оксиды железа (II) в системе восстановятся до исходного металлического состояния. Следовательно, восстановление феррита и магнетита цинка в реакционной системе удовлетворяет условию слабого восстановления. Из графика, представленного на рис. 5, видно, что если сравнивать свободные энергии процессов восстановления феррита цинка и магнетита с учетом эндотермических реакций, то лимитирующей реакцией является восстановление феррита цинка водородом.

Начальная точка процесса восстановления феррита цинка соответствовала температуре 587 °С. При этой температуре вероятность восстановления магнетита водородом очень высока. Определение оптимальной температуры процесса также требует знания его кинетических характеристик. Таким образом, используя значения энергии Гиббса, были определены константы равновесия химических реакций (рис. 6).

Также на рис. 9 представлено разложение и восстановление продуктов в различных температурных интервалах и их влияние на процесс при восстановительном обжиге, а также градиент изменения температуры, потока газа и температуры слоя кека по длине печи размером $L50 \times d3,5$ м от 100 °С до 750-950 °С при вальцевании цинковых кеков восстановительными газами приведены на рис.10.

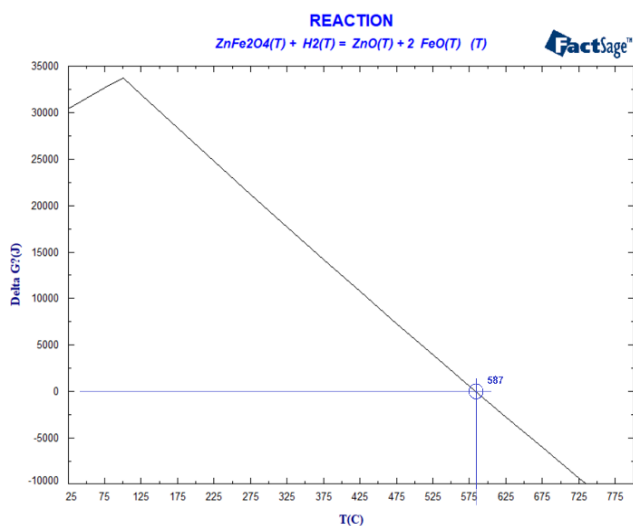


Рис. 7. Значения ΔG реакции восстановления, протекающей в системе феррита и водорода

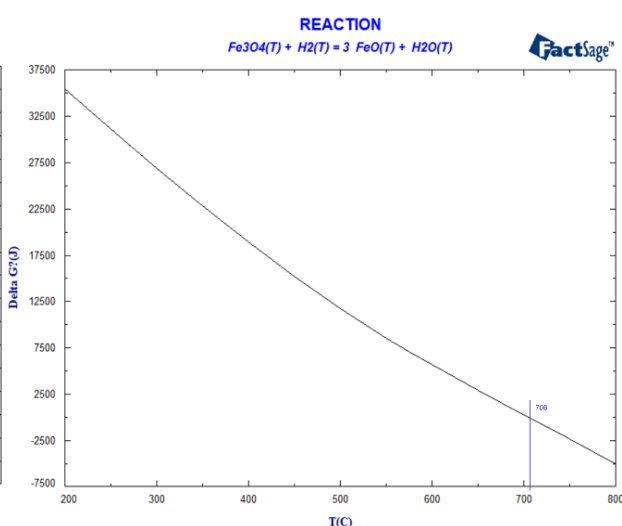


Рис. 8. Значения ΔG реакции восстановления магнетита водородом

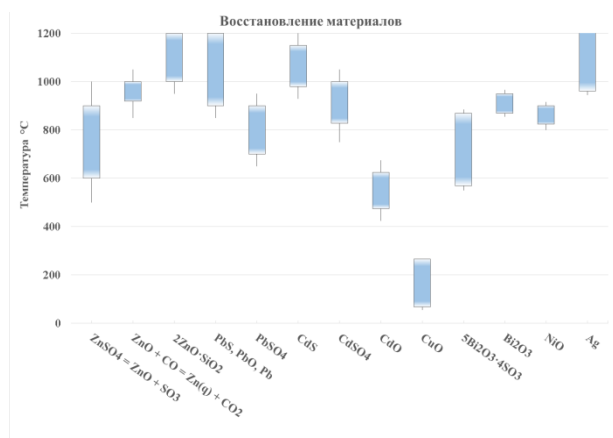


Рис. 9. Влияние, разложение и восстановление продуктов в процессе обжига в различных температурных интервалах

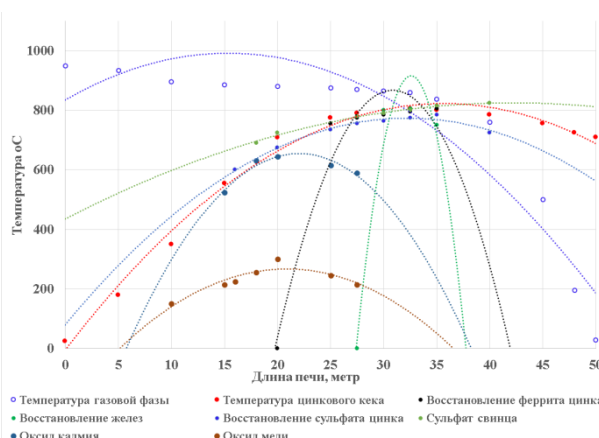


Рис. 10. Изменение температуры по длине печи (L50xd3,5м) при вальцевании цинковых кеков восстановительными газами

По результатам исследования способа восстановления оксидов при восстановлении оксидных соединений цинкового кека твердыми восстановителями установлено, что согласно адсорбционно-автокаталитической теории восстановление происходит при адсорбции восстановительного газа на поверхности оксидов, соединении его с кислородом оксида и выделении с поверхности восстанавливаемого металла.

По данным термодинамического анализа, значение константы равновесия реакции восстановления феррита цинка в присутствии восстановительного газа было высоким в диапазоне температур 750 - 850 °С. Это означает, что вероятность протекания реакции восстановления на практике довольно высока.

В четвертой главе диссертации «Исследование определения основных технологических параметров процесса переработки цинковых кеков» описаны апробация результатов, внедрение в производство

технологии переработки цинковых кеков в атмосфере восстановительных газов с получением огарка, хорошо растворимого в слабокислой серной кислоте. Для сравнения восстановительного обжига цинковых кеков восстановительными газами в лабораторных условиях в трубчатой вращающейся печи (СНОЛ-750-ЛТВП) и твердых местных восстановителей с газообразным восстановителем в динамическом режиме проведены исследования восстановительного обжига Шаргунским углем и активированным углем в муфельной печи (СНОЛ-1,6.2,5.1/9-ИЗ). Опытно-промышленные испытания проводились в стационарном режиме в промышленной велл-печи и в динамическом режиме в печи электрического сопротивления (СТН-1,6.50.0,7-4/9-И1).

Измельченные и высушенные образцы цинковых кеков размером -0,1 мм загружали в сухом виде в печь и на основании значений, полученных в результате термодинамических расчетов, температуру повышали каждые 50 единиц в интервале 700-900 °С. Восстановительный обжиг проводился с разницей в 5 минут с интервалом времени от 50 до 70 минут. При каждой заданной продолжительности (например, 60 минут) в печь подавались три разных образца массой 150-200-250гр. с разницей в количестве восстановительных газов 1,5-2-2,5 литра в минуту. Огарок, полученный от восстановительного обжига, проводимого в каждом временном интервале, охлаждали до комнатной температуры в среде газового потока N_2 0,9 литр/мин. Охлажденный огарок извлекали из печи, взвешивали и часть отправляли на анализ. Остальная часть измельчалась в ступке до размера - 100 мкм и направлялась на опыт выщелачивания.

В результате проведенных исследований были построены графики, показывающие зависимость температуры (рис. 11) и продолжительности обжига (рис. 12) от показателя извлечения цинка в процессе селективного восстановительного обжига.

Результаты опытно-промышленных испытаний по переработке цинковых кеков с использованием восстановительных газов показали, что с увеличением расхода восстановительных газов в реакционной системе количество ферритных соединений в кеке уменьшается. Оптимальная температура селективного восстановительного обжига установлена на уровне 800 °С, а показатель извлечения цинка из образца огарка, полученного при этой температуре, составил 92,8%. Снижение показателя извлечения цинка с повышением температуры обжига объясняется восстановлением оксида цинка до металлического состояния.

При продолжительности восстановительного обжига 70 минут показатель извлечения цинка показал наибольшее значение. Однако, учитывая начало восстановления магнетита до вюстита и его переход в раствор в период выщелачивания, а также условия селективного восстановительного обжига исследования, продолжительность обжига была установлена как оптимальная в 60 минут. Для обеспечения селективности в процессе селективного восстановительного обжига важно определить оптимальный расход восстановительных газов.

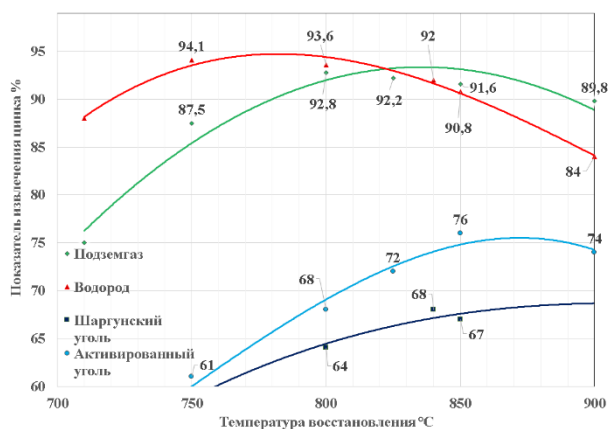


Рис. 11. График зависимости температуры от показателя извлечения цинка при восстановительном обжиге

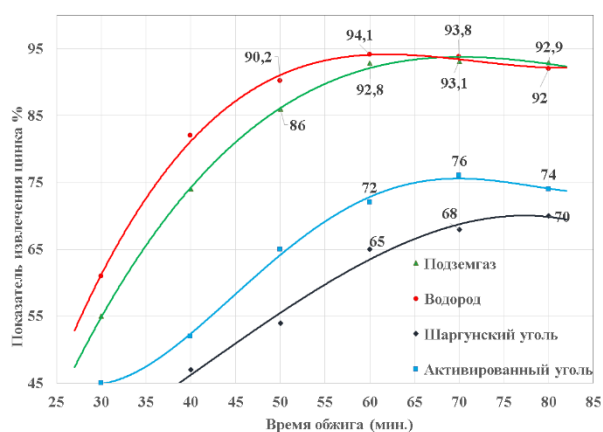


Рис. 12. График зависимости продолжительности селективного восстановительного обжига при 800 °C от показателя извлечения цинка

Поэтому, исходя из стехиометрического расчета реакций, в которых изучались термодинамические аспекты доли восстановительных газов в энергетических газах, определяя теоретический расход восстановительных газов по отношению к массе кека, количество восстановительных газов подавалось в процесс в соотношениях от 25% до 45%. На основе полученных суммарных значений определено оптимальное количество газов 35% и сформирована диаграмма (рис. 13). При увеличении количества восстановительного газа в газовой смеси показатель извлечения цинка оставался практически неизменным.

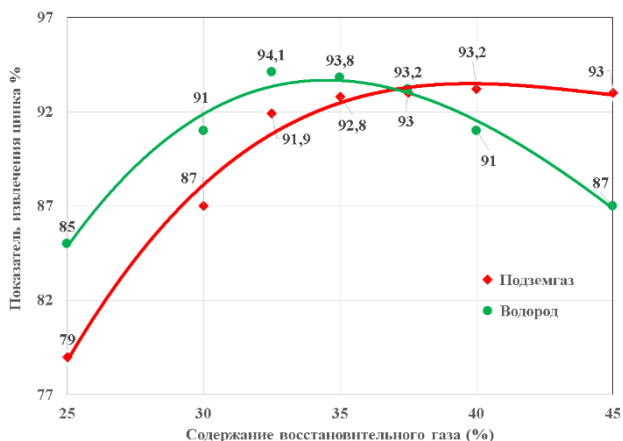


Рис. 13. График зависимости количества восстановительных газов от показателя извлечения цинка при селективном восстановительном обжиге при 800 °C

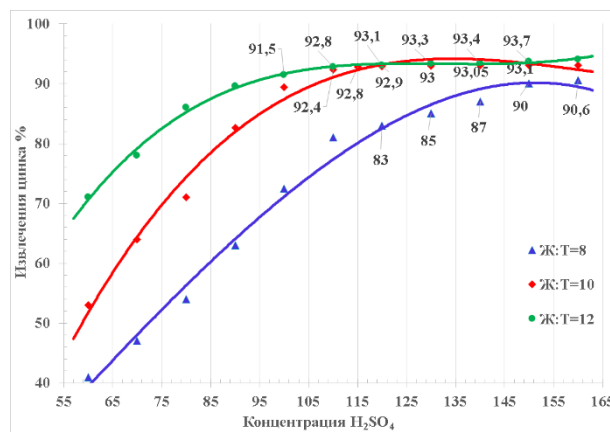


Рис. 14. График зависимости концентрации раствора от показателя извлечения цинка при выщелачивании

Выщелачивание полученного огарка принималось с учетом таких параметров, как концентрация раствора, соотношение жидкости к твердому, температура раствора, скорость перемешивания и продолжительность выщелачивания. Исследования проводились при концентрации раствора 100-150 г/л с интервалом каждые 10 г/л, температуре выщелачивания 40-80 °C с интервалом каждые 10 °C, продолжительностью 20-50 минут с интервалом каждые 10 минут. Соотношение жидкости к твердому увеличивалось в

соотношениях с 6 до 12 с разницей в 2 показателя. Были проведены исследования по определению оптимальных параметров скорости перемешивания суспензии, которые варьировались от 150 до 350 оборотов в минуту с разницей в каждые 50 оборотов.

При достижении концентрации раствора 115 г/л и соотношении Ж:Т 10 извлечение цинка составило 92,8% (рис. 14). С увеличением концентрации извлечение цинка также увеличивалось, но это также приводило к увеличению количества железа в растворе. При увеличении соотношения жидкий к твердому до 12 извлечение цинка составило 93,1%. Однако достижение этого показателя не было выбрано оптимальным из-за высокого соотношения Ж:Т, что приводит к чрезмерным расходам раствора.

При достижении температуры выщелачивания 45 °С и соотношении Ж:Т 10 извлечение цинка составило 92,8% (рис. 15). При повышении температуры выщелачивания извлечение цинка увеличилось на 0,3%, что также привело к увеличению содержания железа в растворе. Однако при достижении этого показателя высокое соотношение раствора к твердому продукту (12 мл/г) вызывает чрезмерные потери раствора и не является оптимальным из-за того, что он практически не изменяет производительность.

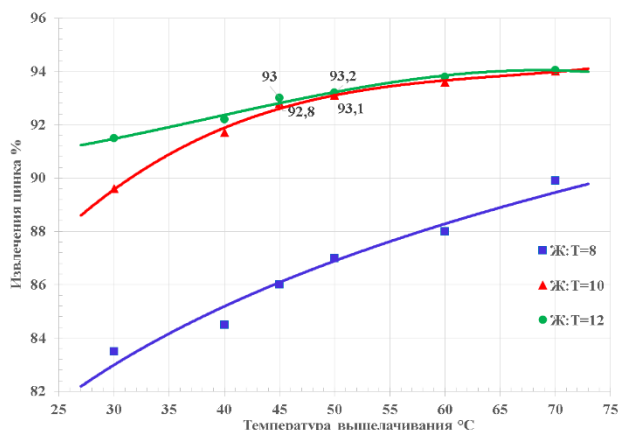


Рис. 15. График зависимости температуры выщелачивания от показателя извлечения цинка

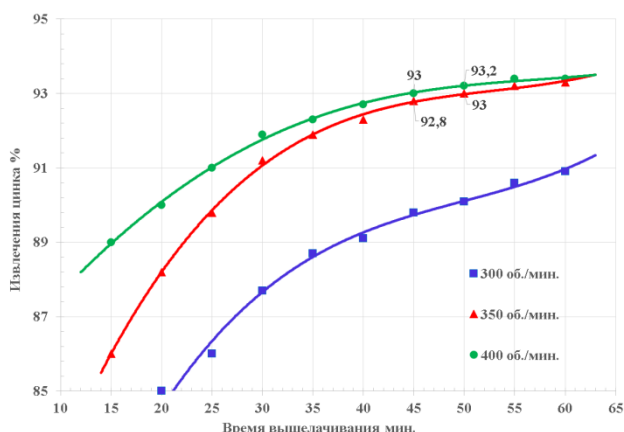


Рис. 16. График зависимости концентрации раствора от показателя извлечения цинка при выщелачивании

При скорости перемешивания раствора 350 оборотов в минуту и соотношении Ж:Т 10 при продолжительности выщелачивания 45 минут извлечение цинка составило 92,8% (рис. 16). При дальнейшем выщелачивании извлечение цинка увеличилось на 0,2-0,5%, что привело к увеличению содержания железа в растворе. Однако этот показатель не был оптимальным из-за высокой скорости перемешивания станка для выщелачивания раствора (400 об/мин), необходимости более мощного станка, а также высокого соотношения жидких и твердых продуктов (12 мл/г), что приводит к чрезмерным расходам раствора и снижению производительности.

Сначала был проведен анализ фазового состава огарка с целью определения изменения минералогической и фазовой структуры компонентов, содержащихся в огарке восстановительного обжига в период обжига. Результаты анализа представлены в табл.3 и спектрограмме на рис. 17.

Таблица 3

Минералогический состав цинка в огарке восстановительного обжига в стационарном режиме

Компоненты	Zn _{um}	ZnO	ZnFe ₂ O ₄	ZnO·SiO ₂	ZnS	ZnSO ₄	другие
Содержание цинка	22,5	21,15	0,47	0,15	0,11	0,32	0,29
Распределение %	100	94	2,1	0,65	0,51	1,46	1,28

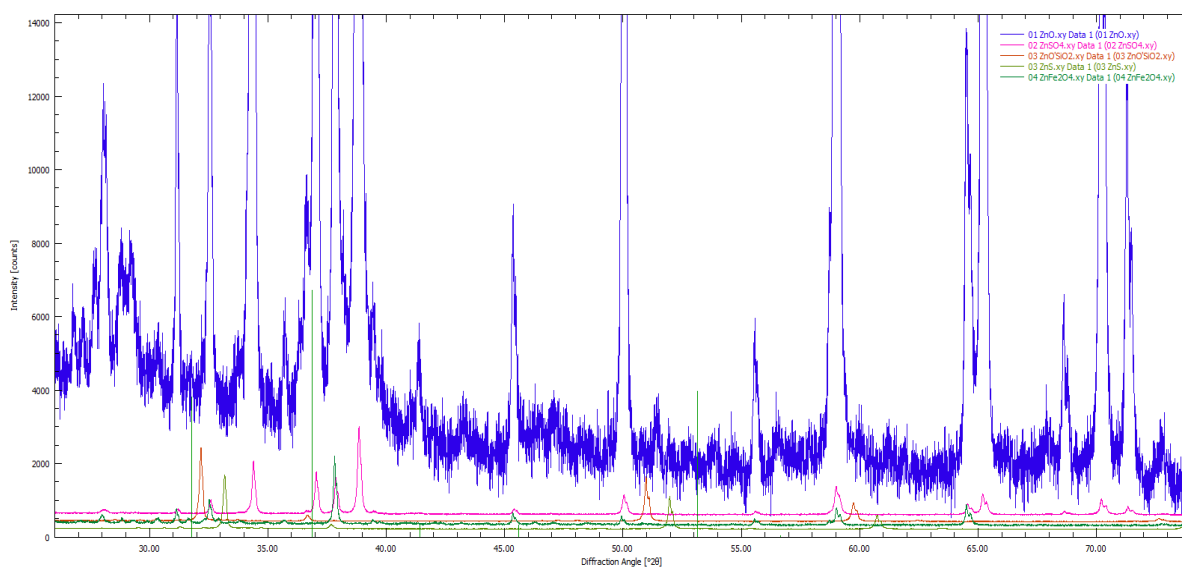


Рис. 17. Спектрограмма фазового состава огарка восстановительного обжига в стационарном режиме

Оптимальные параметры результатов исследований выщелачивания огарка были сформированы на основе всех экспериментальных результатов. Принимались оптимальные параметры для исследования выщелачивания суспензии соотношением Ж:Т 9 мл/г в слабой кислоте с концентрацией 115 г/л и рН=7 и температурой 45°С при скорости перемешивания 350 оборотов в минуту в течение 45 минут. При этих параметрах показатель извлечения цинка в раствор составил 92,8%, а минимальный переход железа в раствор - 13,1%. Был проанализирован фазовый состав остатков выщелачивания. Результаты анализа представлены в табл.4, а спектрограмма - на рис.18.

Таблица 4

Фазовый состав цинка в остатках выщелачивания

Компоненты	Zn _{um}	ZnO	ZnFe ₂ O ₄	ZnO·SiO ₂	ZnS	ZnSO ₄	другие
Содержание цинка	1,67	0,41	0,47	0,14	0,11	0,24	0,29
Распределение %	100	24,55	28,11	8,35	6,85	14,28	17,25

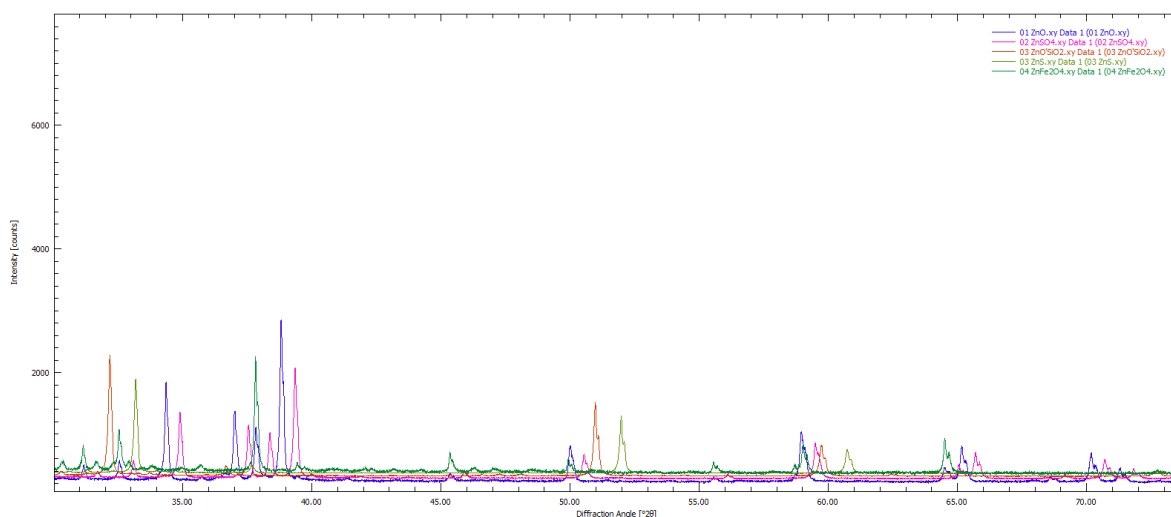


Рис. 18. Спектрограмма фазового состава остатков выщелачивания огарка

Для расчета коэффициента корреляции использовались истинные значения (X) процессов восстановительного обжига и выщелачивания огарка. Исследование восстановительного обжига первоначально проводилось в течение 50 минут для определения оптимальной продолжительности процесса восстановительного обжига. На основании полученных результатов было определено, что ферриты восстановлены в большом количестве, но для достижения более высоких показателей с загрузкой других образцов обжиг продолжался 60 и 70 минут. В качестве истинных значений были выбраны значения результатов обжига, проводимого с разницей в каждые 10 минут в течение 50-70 минут, и использовались для моделирования результатов 30-80-минутного восстановительного обжига. Для определения значений процесса 45-минутного восстановительного обжига (Y) использовали истинные значения экспериментальных результатов (X) 50-минутного процесса обжига (рис. 19). Таким же образом были рассчитаны промежуточные значения процессов обжига и выщелачивания.

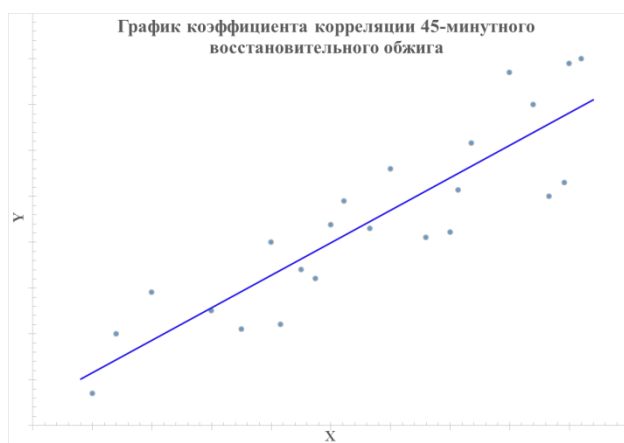


Рис. 19. Диаграмма коэффициента корреляции 45-минутного восстановительного обжига

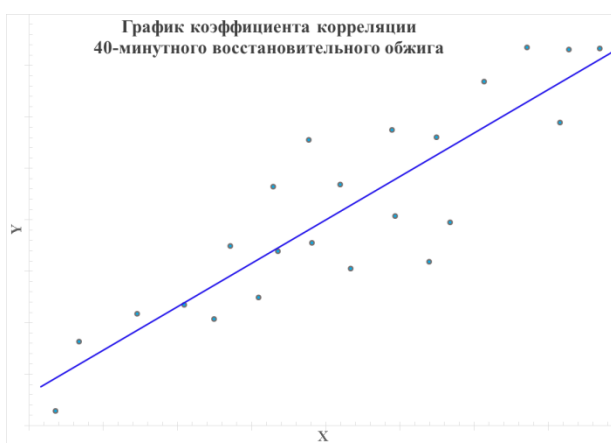


Рис. 20. Диаграмма коэффициента корреляции 40-минутного восстановительного обжига

С целью проведения сравнительного анализа составлена традиционная схема переработки цинкового кека АО «Алмалыкский ГМК» (рис. 21) и разработанная технологическая схема процесса усовершенствования (рис. 22).

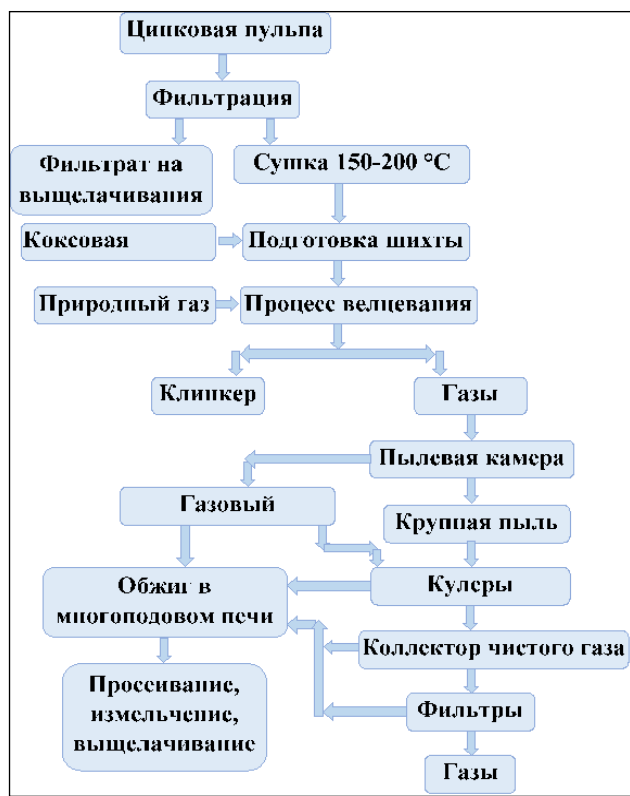


Рис.21. Традиционная технологическая схема переработки цинкового кека в АГМК



Рис. 22. Предложенная технологическая схема переработки цинкового кека с использованием восстановительных газов

Преимущества данной технологии заключаются в том, что предлагаемый процесс осуществляется без выхода из общего технологического цикла при переработке цинковых кеков, при этом повышается степень извлечения цинка из цинковых кеков и позволяет заменить импортный продукт кокс на местные восстановительные газы. Кроме того, данная технология не требует дополнительных технических устройств и аппаратуры.

В результате переработки цинковых кеков методом восстановительного обжига в атмосфере восстановительных газов усовершенствован традиционный метод. То есть, перед тем как цинковый кек поместить в печь, процесс подготовки шихты и коллектор чистого газа удаляется. Проведенные исследования позволяют разработать, апробировать и внедрить в производственных условиях малоотходную технологию переработки цинковых кеков на АО «Алмалыкский ГМК».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований по диссертации на тему «Усовершенствование технологии переработки техногенных отходов цинкового производства» представлены следующие выводы:

1. Определены химический, фазовый состав (20-25% Zn) и свойства техногенного отхода цинкового кека, образующегося при производстве цинка, а также разработаны технологии его переработки. Это позволяет не изменять технологические регламенты;

2. С целью разработки эффективного способа извлечения цинка и других ценных компонентов из цинкового кека было определено влияние местных восстановительных газов с порошкообразным цинковым кеком на степень разложения феррита в кеке. Полученные данные служат для усовершенствования традиционной технологии путем снижения температуры переработки цинкового кека на 30%;

3. С целью снижения потерь цинка с кеком определено, что оптимальное количество расходуемых восстановительных газов для процесса переработки порошкообразного кека в атмосфере слабо восстанавливающих газов составляет 35%. Эти данные служат для обеспечения слабой восстановительной среды при обжиге кека;

4. Разработан способ слабо восстановительного селективного обжига порошкообразного цинкового кека в атмосфере восстановительных газов в трубчатой вращающейся печи. На основании этих данных важно провести восстановительный обжиг при температуре 800 °С в течение 60 минут;

5. Восстанавливающие газы в составе энергетических газов при восстановлении ферритов шпинельной структуры в составе кека, оптимальное количество восстанавливающих газов и температура восстановительного обжига для обеспечения слабой восстановительной среды в процессе, а также инертная среда служат для предотвращения повторного образования феррита цинка, восстановленного до оксида цинка и оксида железа III (вюстита);

6. Разработана технология низкокислотного выщелачивания для достижения селективности перехода в раствор необходимых компонентов из огарка, полученного в процессе слабо-восстановительного обжига. В результате достигается снижение температуры раствора на 12%, концентрации на 17 г/л;

7. По предлагаемой технологии переработки цинковых кеков восстановительными газами степень извлечения цинка в раствор после выщелачивания огарка составила 92,8%. В результате появилась возможность снизить содержание цинка в остатке выщелачивания с 1,65% до 1,47% по сравнению с содержанием цинка, остающегося в клинкере.

8. В результате внедрения технологии обжига цинковых кеков в атмосфере слабо-восстанавливающих газов достигается экономический эффект в размере 513 623 000 сумов в год за счет сокращения двух процессов

из технологической схемы и замены кокса на местные восстанавливающие газы.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/30.12.2019.T.03.04 ON THE SCIENTIFIC
DEGREE GUIDE AT THE TASHKENT STATE
TECHNICAL UNIVERSITY**

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

ISMAILOV JONIBEK BAKHADYROVICH

**IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY RECYCLING TECHNOGENIC
WASTES OF ZINC PRODUCTION**

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 – 2025

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 B2022.3.PhD/T3102

The dissertation was completed 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:

Berdiyarov Bakhridin Tilovkabulovich
Doctor of technical sciences, Associate professor

Official opponents:

Norkhudjayev Fayzulla Ramazanovich
doctor of technical sciences, professor

Samadov Alisher Usmanovich
doctor of technical sciences, professor

Leading organization:

Almalyk branch of NUST MISiS

The defense of the dissertation will be held at the meeting of the Academic Council DSc.03.30.12.2019.T.03.04 under the Tashkent State Technical University at 2025 “08” November at 14:00 (Address: 2, University street, Tashkent, Uzbekistan 100095, phone/fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

The dissertation is available at the Information Resource Center (IRC) of the Tashkent State Technical University (registration number 47). (Address: 2, University street, Tashkent, Uzbekistan 100095, phone/fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

Abstract of the dissertation was distributed on «23» October 2025.
(mailing report № «193» on «10» October 2025).

K.A. Karimov

Chairman of scientific council for degrees,
Doctor of technical sciences, professor

Sh.B. Tashbulatov

Scientific secretary of the scientific
council on awarding scientific degrees,
doctor of philosophy (PhD), associate professor

N.D. Turakhodjaev

Chairman of scientific seminar,
Doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (Abstract for the dissertation of Doctor of philosophy (PhD))

The purpose of the study is to improve improvement of the technology for recycling technogenic waste of zinc production.

The objects of the research work is technogenic waste cakes formed during the neutral leaching of calcine obtained as a result of oxidative roasting of sulfide zinc concentrates and local energy gases containing reducing gases, as well as carbon-containing solid reducing agents.

The scientific novelty of the research work consists in the following:

has been developed a method of low-acid leaching of calcine obtained from the process of selective reducing roasting in a tubular rotary kiln in an atmosphere of reducing gases based on changes in the temperature and concentration of the solution;

has been developed a method for extracting zinc from zinc cake based on the determination of critical points of the dynamics of temperature-dependent changes in the reducing properties of reducing energy gases;

has been determined as a result of the interaction of reducing gases, such as carbon monoxide, hydrogen, and methane, contained in local energy gases with zinc cake, the reduction of zinc ferrite and sulfate, which form the basis of the cake, to zinc oxide, magnetite, iron (II) oxide, and sulfur dioxide in a weakly reducing environment;

has been determined when processing dry powdered zinc cake in a reducing gas environment, the adsorption of methane and hydrogen at a temperature of 500-590 °C on the surface of spinel-structured ferrite in the cake in the system of reducing gas and zinc cake;

has been developed a method of low-temperature acid leaching of calcine obtained during the reducing roasting process based on the thermal parameters released as a result of chemical reactions that affect the change in the solution temperature.

Implementation of the research results.

Based on the obtained scientific results on improving the technology of recycling technogenic wastes of zinc production:

the technology for increasing zinc extraction by destroying the structure of ferrites by treating zinc cakes in a reducing gas atmosphere and leaching them in low-temperature weak acid, as well as extracting copper and noble metals from the residual product, has been implemented at the zinc plant of JSC “Almalyk MMC.” (Certificate of “AMMC” JSC № SL-001074 dated November 4, 2024). As a result, it was possible to use energy gases containing 35% reducing gases, as well as to carry out reducing roasting at 800°C;

at the zinc plant of JSC “Almalyk MMC” the technology of weak-acid leaching of scale obtained during selective reduction roasting in a reducing gases atmosphere in a rotary kiln furnace has been implemented. (Certificate of “AMMC” JSC № SL-001074 dated November 4, 2024). As a result of

implementation, a decrease in solution temperature by 12% and concentration by 17 g/l was achieved;

at the zinc plant of JSC “Almalyk MMC” implemented a technology for leaching reduced calcine at a solution temperature of 45 °C and a concentration of 115 g/l, which ensures the selectivity of components in the calcine and the degree of zinc extraction to the solution of 92.8% (certificate of “AMMC” JSC № SL-001074 dated November 4, 2024). As a result, the zinc content in the leaching residue decreased from 1.65% to 1.47%.

Structure and scope of the thesis.

The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, the list of references, as well as an appendix. The volume of the dissertation is 120 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть; part I)

1. Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Ismailov J.B., Matkarimov S.T., Ismatov Sh.O. Selective reduction of trivalent iron in zinc ferrite using elemental sulphur // Technical science and innovation, Vol. 2022, Iss.3. P. 51-59. (05.00.00; № 16)

2. B.T. Berdiyarov, S.T. Matkarimov, J.B. Ismailov. Recovery of the recovery zinc concentrate in a weakly reducing gas atmospheric environment // Technical science and innovation: Vol. 2/2022: ISSN: 2181-0400. P.4-10. (05.00.00; № 16)

3. Berdiyarov B.T., Xasanov A.S., Ismailov J.B. Investigation of solid-phase reactions occurring during the firing of charge components // Technical science and innovation: Vol. 3/2021: ISSN: 2181-0400. P. 130-136. (05.00.00; № 16)

4. Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T., Ismailov J.B., Gapparova M.M. Rux ferritini elementar oltingugurt bilan tiklash jarayonining termodinamik jihatlari // Kompozitsion materiallar, № 3, 2022. P. 65-69. (05.00.00., №13).

5. B.T. Berdiyarov, S.T. Matkarimov, Sh.A. Mukhametdzhanova, S.K. Nosirkhodjaev, J.B. Ismailov., K.T. Ochildiev, U.A. Akramov, H.I. Choriev, F.B. Toxtamurodov. Development of technology for reducing ferrites and zinc silicates when ringing zinc concentrates in roast furnaces. Kompozitsion Materiallar. №4, 2024. ISSN 2091-5527, pp.92-95 (05.00.00., №13).

6. Ismailov J.B., Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Ochildiev K.T. Study of the solubility of zinc ferrite in a mixture of citric and sulfuric acids // Universum: технические науки. – Москва, 2023. – № 10(115), часть 6. – С. 52-55. (02.00.00; № 1)

7. Ismailov J.B., Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Ochildiev K.T. Thermodynamics of reduction of zinc ferrite by pyrite // Universum: технические науки. – Москва, 2023. – № 10(115), часть 6. – С. 56-59. (02.00.00; № 1)

8. Исмаилов Ж.Б., Бердияров Б.Т., Очилдиев К.Т., Нуралиев О.У., Султонов Х.Ш. Возможности совершенствования технологии обжига цинковых концентратов // Universum: технические науки. – Москва, 2024. – № 11(128), часть 3. – С. 37-40. (02.00.00; № 1)

9. Ismailov J., Berdiyarov B., Nosirkhujayev S., Ochildiyev K., Nuraliyev O. Possibilities for improving the technology of roasting zinc concentrates // E3S Web of Conf, 2024. - Vol.525, Issue 04003. pp. 4. (Scopus; № 4)

II bo'lim (II часть; part II)

10. Исмаилов Ж.Б., Рахматалиев Ш.А., Ёкубов А.А., Расулова Н.Н. Современные технологии производства цинка // Международный научно-

образовательный электронный журнал «Образование и наука в XXI веке». Выпуск №26 (том 2) (май, 2022). стр. 217-225.

11. J.B.Ismailov, U.A.Akramov, S.T.Matkarimov, F.B.Tukhtamurodov, B.R.Karimdjonov, New methods of separation zinc from zinc cakes // Proceeding of 3rd International Conference on Energy, Earth, Environment&Engineering, Tashkent, 5 december 2023. P. 94.

12. Исмаилов Ж.Б, Восстановление цинковых кеков цинкового завода АО "АГМК" в слабовосстанавливающей среде // Форум молодых ученых государств-участников СНГ "Наука без границ". г. нижний Новгород, 1-4 ноября 2022 г. Сборник материалов Том 1 - М: Центр научно-технических решений 2023 г., 250 с.

13. B.T. Berdiyarov, J.B. Ismailov, S.T. Matkarimov Reduction of zinc cake with methane (CH₄) in a weakly reducing gas atmosphere // Proceedings of Uzbekistan-Japan International Conference on “Energy-Earth-Environment-Engineering”, Tashkent, November 17-18, 2022. P. 33.

14. B.T. Berdiyarov, J.B. Ismailov, S.T. Matkarimov Reduction of zinc cake with carbon monoxide (CO) in a weak reducing gas atmosphere // Proceedings of Uzbekistan-Japan International Conference on “Energy-Earth-Environment-Engineering”, Tashkent, November 17-18, 2022. P. 29.

15. Berdiyarov B.T., Ismailov J.B., Khojiev Sh.T., Matkarimov S.T. Reduction of zinc cake by hydrogen (H₂) in a weakly reducing gas atmosphere // Proceedings of Uzbekistan-Japan International Conference on “Energy-Earth-Environment-Engineering”, Tashkent, November 17-18, 2022. P. 31.

16. Бердияров Б.Т. Исмаилов Ж.Б. Переработка цинкового огорка в слабо-восстанавливающей газовой атмосферной среде // «Риски, вызовы и проблемы XXI века в цифровой трансформации рационального и безопасного недропользования». Международная научно-техническая конференция – Ташкент, ТашГТУ, 2022 г. стр. 336-341.

17. Бердияров Б.Т., Исмаилов Ж.Б. Кучсиз тикловчи газ атмосфераси мухитида рух куйиндиларини тиклаш // “Куймакорлик ишлаб чиқариш соҳасида ресурс ва энергиятежамкор инновацион технологиялар” мавзусидаги Халқаро миқийсадаги илмий ва илмий-техник анжуман 23-24 март, 2022, Тошкент. 209-212-бет.

18. Berdiyarov B.T., Ismailov J.B., Sulstonov Kh.Sh. Technologies for the extraction of zinc from industrial waste // International scientific and scientific-technical conference on “Practical and innovative scientific research: current problems, achievements and innovations (dedicated to the memory of professor A.A.Yusupkhodjaev)” 6th December, 2021. Tashkent. pp. 372-374

19. Бердияров Б.Т., Исмаилов Ж.Б. Рух куйидиларни тикловчи куйдириш жараёнининг тадқиқоти // “Амалий ва инновацион илмий тадқиқотлар: долзарб муаммолар, ютуқлар ва янгиликлар (профессор А.А. Юсупходжаевнинг хотирасига бағишланган)” мавзусидаги халқаро миқийсадаги илмий ва илмий-техник анжуман материалари тўплами. 6 декабрь, 2021й. Тошкент. б. 176-178

20. Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Ismailov J.B., Studying the Possibilities of Extracting Non-Ferrous and Precious Metals from Waste by Hydrometallurgical Processing of Zinc Production Waste // “Konchilik va metallurgiya fanining dolzarb masalalari” mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 23-sentabr, 2023 y. B. 113-115.

21. Бердияров Б.Т., Хасанов А.С., Исмаилов Ж.Б., Ҳожиёв Ш.Т. Рух ишлаб чиқариш куйиндиларини қайта ишлаш технологиясини такомиллаштириш // Материалы II-Республиканской научно-практической конференции с участием зарубежных ученых «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных материалов», Ташкент, 19 января 2022 г. С. 434-437.

Avtoreferat "ToshDTU xabarları" ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o'tkazilib,
o'zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlari o'zaro muvofiqlashtirildi.