

**MILLIY TEXNOLOGIK TADQIQOTLAR UNIVERSITETI «MISIS»NING
OLMALIQ SHAHRIDAGI FILIALI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR
BERUVCHI DSc.22/30.12.2019.T.98.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI OLMALIQ FILIALI**

MIRZAVALIYEV DOSTONBEK BAXODIR O‘G‘LI

**PO‘LAT ERITISH JARAYONIDA HOSIL BO‘LADIGAN SHLAKLAR
TARKIBIDAN MARGANESNI AJRATIB OLISH TEXNOLOGIYASINI
ISHLAB CHIQISH**

**05.02.01–Mashinasozlikda materialshunoslik. Quymachilik. Metallarga termik va bosim
ostida ishlov berish. Qora, rangli va noyob metallar metallurgiyasi (texnika fanlari)**

**TEXNIKA fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Olmaliq – 2025

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori dissertatsiyasi avtoreferati
mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

**Content of dissertation abstract of Doctor of Philosophy (PhD)
of technical sciences**

Mirzavaliyev Dostonbek Bahodir o'g'li Po'lat eritish jarayonida hosil bo'ladigan shlaklar tarkibidan marganesni ajratib olish texnologiyasini ishlab chiqish.....	3
Мирзавалиев Достонбек Баходир угли Разработка технологии извлечения марганца из шлаков, образующихся в процессе выплавки стали.....	21
Mirzavaliyev Dostonbek Bahodir o'g'li Development of a technology for manganese recovery from slags generated in the steelmaking process.....	41
E'lon qilingan ishlar ro'uxati Список опубликованных работ List of published works	45

**MILLIY TEXNOLOGIK TADQIQOTLAR UNIVERSITETI “MISIS” NING
OLMALIQ SHAHRIDAGI FILIALI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR
BERUVCHI DSc.22/30.12.2019.T.98.01 ILMIY KENGASH**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
OLMALIQ FILIALI**

MIRZAVALIYEV DOSTONBEK BAXODIR O‘G‘LI

**PO‘LAT ERITISH JARAYONIDA HOSIL BO‘LADIGAN SHLAKLAR
TARKIBIDAN MARGANESNI AJRATIB OLISH TEXNOLOGIYASINI
ISHLAB CHIQISH**

**05.02.01–Mashinasozlikda materialshunoslik. Quymachilik. Metallarga termik va bosim
ostida ishlov berish. Qora, rangli va noyob metallar metallurgiyasi (texnika fanlari)**

**TEXNIKA fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori dissertatsiyasi (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida № B2025.1.PhD/T5328 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Doktorlik dissertatsiyasi Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetida Olmaliq filialida bajarilgan.

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

Ilmiy rahbar:

Parmonov Sarvar Toshpo'latovich
texnika fanlari doktori (DSc), dotsent

Rasmiy opponentlar:

Berdiyarov Baxriddin Tilovkabulovich
texnika fanlari doktori (DSc), dotsent

Matkarimov Sohob Turdaliyevich
texnika fanlari doktori (DSc), professor

Yetakchi tashkilot:

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti

Dissertatsiya himoyasi Milliy texnologik tadqiqot universiteti "MISIS"ning Olmaliq shahridagi filiali huzuridagi DSc.22/30.12.2019.T.98.01 raqamli Ilmiy kengashning 2025-yil "5" dekabr soat 14⁰⁰ da majlisida bo'lib o'tadi. Manzil: 110101, Olmaliq shahri, Amir Temur ko'chasi, 56-uy. Milliy texnologik tadqiqot universiteti "MISIS"ning Olmaliq shahridagi filiali majlislar zali. Tel.: (+998 70) 614-22-82; e-mail: info@misis.uz.

Dissertatsiya bilan Milliy texnologik tadqiqot universiteti "MISIS"ning Olmaliq shahridagi filiali Axborot-resurs markazida tanishib chiqish mumkin (25-40-Д raqam bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 110101, Olmaliq shahri, Amir Temur ko'chasi, 56-uy. Tel.: (+998 70) 614-22-82.

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil " 20 " noyabr kuni tarqatildi.
(2025 yil "20" noyabrdagi 31 raqamli reestr bayonnomasi)

F.Ya. Umarov

Ilmiy darajalar berish bo'yicha
Ilmiy kengash raisi, t.f.d., professor

G'.S. Nutfulloyev

Ilmiy darajalar berish bo'yicha
Ilmiy kengash ilmiy kotibi, t.f.d., dotsent

Sh. Sh. Zairov

Ilmiy darajalar berish bo'yicha Ilmiy kengash qoshidagi
Ilmiy seminar raisi, t.f.d., professor

KIRISH (Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati. Jahonda kon-metallurgiya sanoatida ma'danlarni qayta ishlashga tayyorlash, ularni to'liq va samarali o'zlashtirish, shuningdek, ikkilamchi xomashyo manbalari va ularni qayta ishlashda hosil bo'lgan chiqindilardan xususan po'lat eritish jarayonidan hosil bo'lgan shlaklar tarkibidan foydali elementlarni ajratib olish bo'yicha turli texnologik jarayonlarni takomillashtirish muhim hisoblanadi. Shu bilan birga, po'lat eritish jarayonidan hosil bo'lgan shlaklarni kompleks qayta ishlash metallurgiya sanoati uchun muhim ahamiyatga ega bo'lib, bu turli texnik, texnologik, tashkiliy va boshqa muammolarni hal etishni taqozo etadi. Po'lat eritish jarayonida qo'llaniladigan marganesning ko'p qismi jarayonni mo'tadil o'tmaganligi sababli shlak tarkibiga o'tishi aniqlandi. So'nggi yillarda elektr yoyli po'lat eritish pechlarida po'lat eritish jarayonini rivojlantirish bo'yicha ko'plab tadqiqotlar bajarilishiga qaramay, jarayondan hosil bo'lgan shlaklar tarkibida marganesni ajratib olish orqali marganesga bo'lgan talabni qoplash eng istiqbolli yo'nalish bo'lib qolmoqda. Yaqin kelajakda metallurgiya, konchilik sanoatlarida hamda po'lat eritish jarayonida hosil bo'ladigan chiqindilarni qayta ishlash sohasining rivojlanishiga e'tibor qaratish muhim ahamiyat kasb etadi.

Bugungi kunda dunyoda po'lat ishlab chiqarish jarayonida hosil bo'ladigan marganesli shlaklarni samarali qayta ishlash, shlakdagi qimmatbaho elementlarni, xususan, marganesni eritmaga maksimal darajada ajratib olish, ajratilgan marganesni tozalash va undan foydalanishga yaroqli mahsulotlar olish bo'yicha keng ko'lamlil ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Bu borada shlakdan marganesni ajratish uchun gidrometallurgik usullar, xususan, sulfat kislota bilan eritish jarayonini takomillashtirish, eritmaga o'tgan marganesni samarali cho'ktirish, qo'shimcha reagentlar ta'sirida ajralish darajasini oshirish, shuningdek, ajratib olingan mahsulotlar sifatini oshirishga xizmat qiluvchi texnologik sharoitlarni aniqlashga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda "Navoiy kon-metallurgiya kombinati" AJ va "Olmaliq kon-metallurgiya kombinati" AJ ishlab chiqarish korxonalarini samaradorligini oshirish bo'yicha ilg'or ilmiy asoslangan chora-tadbirlarni joriy qilib, qator ilmiy-amaliy natijalarga erishilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Qarorida¹ "Kon-metallurgiya sanoati va boshqa bazaviy tarmoqlarning yirik korxonalarida atrof-muhitga chiqariladigan chiqindilarni kamaytirish dasturlarini ishlab chiqish..." kabi muhim vazifalar belgilangan. Ushbu vazifalardan kelib chiqqan holda, po'lat eritishda jarayonida hosil bo'ladigan shlaklar tarkibidan marganesni ajratib olish texnologiyasini yaratish asosiy vazifalardan bo'lib, bu yo'nalishga qaratilgan tadqiqotlar katta ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi" to'g'risidagi Farmoni, 2019 yil 17 yanvardagi PQ-4124-son "Kon-metallurgiya

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 24-iyundagi PQ-5159-sonli «Kon-metallurgiya sanoati va unga bog'liq sohalarni rivojlantirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida»gi Qarori.

sohasi korxonalari faoliyatini kelgusida takomillashtirish choralari” haqidagi, 2019-yil 4-oktabrdagi “2019-2030 yillar davrida O‘zbekiston Respublikasi “Yashil iqtisodiyotiga o‘tish strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risidagi”gi PQ-4477-son, 2020-yil 15-maydagi “Toshkent viloyatida sanoat ishlab chiqarish hajmlarini yanada kengaytirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-4715-son, 2021-yil 24-iyundagi “Kon-metallurgiya sanoati va unga bog‘liq sohalarni rivojlantirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PQ-5159-son qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga mazkur dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning Respublika ilm-fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi. Mazkur tadqiqot ishi respublika fan va texnologiyalarni rivojlantirishning II. “Energetika, energiya va resurs tejamkorlik” ustuvor yo‘nalishiga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Temirni qayta eritish jarayonlarida hosil bo‘ladigan shlaklardan hamda boshqa texnologik chiqindilardan marganesni ajratib olish, ularni qayta ishlash va iqtisodiy jihatdan samarali mahsulotlarga aylantirish bo‘yicha rivojiga xorijiy va mahalliy olimlar: M. Motovilov, A.N. Dubrovskiy, V.V. Zubov, A.A. Suchkov, L.I. Leontyev, J.H. Hoffmann, Y. Wang, Z. Zhu, S. Komarov, H. Yamaguchi, M. Mahiuddin, B.S. Park, A.Tastanova, W.Li, W. Zhang, C. Y. Cheng, V. Xolger, L-M. Xorst, J.B. McMahan, A.A. Aleksandrov, W. T. Rashid, O.M. Isakov, K.S.Sanakulov, A.S.Hasanov, S.T.Parmonov va boshqa olimlar salmoqli hissalarini qo‘shganlar.

Jahon amaliyotida A.Ye.Rudenko, V.A.Lebedev, A.M.Kuznetsov, F.Xabashi, Yu.Chjan kabi olimlar tomonidan ishlab chiqilgan po‘lat eritishda hosil bo‘ladigan shlaklardan marganesni oksidlanish va qaytarilish reaksiyalari orqali ajratib olish, gidrometallurgik usullar bilan marganesni eritmaga o‘tkazish, shuningdek, tarkibida temir bo‘lgan xomashyo, karbonatli birikmalar, sulfidlar va boshqa reagentlardan qaytaruvchi sifatida foydalanish texnologiyasi o‘zini yaxshi oqlagan. Ishlab chiqilayotgan texnologiya hozirgi vaqtda iqtisodiy jihatdan kam samarali hisoblangan marganes tarkibli shlam chiqindilarini qayta ishlashni ishlab chiqarish sikliga jalb qilish imkonini beradi, chunki ular katta energiya sarfi va katta miqdordagi tiklovchilarni talab qiladi va jiddiy ekologik muammolarni keltirib chiqaradi. Dissertatsiya ishida taklif etilgan po‘latlarni qayta eritishda hosil bo‘ladigan marganes tarkibli shlaklarni qayta ishlash jarayoni germetik sharoitda yuqori intensivlikda amalga oshiriladi va olingan aglomeratlarni keyingi qayta ishlash kremniyni olib tashlash, yuvish, neytrallash va cho‘ktirish bosqichlarini o‘z ichiga oladi.

Shuning uchun po‘lat eritishda hosil bo‘ladigan shlaklarni qayta ishlash bo‘yicha mavjud texnologik yechimlarni takomillashtirish va yangilarini ishlab chiqish dolzarb ilmiy va amaliy vazifa hisoblanadi. Ushbu yo‘nalish metallurgiya chiqindilarini qayta ishlashning gidrometallurgik usullari samaradorligini oshirish va mineral xomashyo resurslaridan oqilona foydalanishda alohida ahamiyat kasb etadi.Shuning uchun po‘lat eritishda hosil bo‘ladigan shlaklarini qayta ishlashning mavjud texnologiyalarini takomillashtirish va yangi texnologiyalarni ishlab chiqish dolzarb ilmiy va amaliy muammo bo‘lib, shlaklarini gidrometallurgik usulda qayta

ishlash usullarini ishlab chiqish samaradorligini oshirishda muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya bajarilayotgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali ilmiy-tadqiqot rejasining AK-13 "Po'lat eritish jarayonida hosil bo'ladigan shlaklar tarkibidan marganesni ajratib olish texnologiyasini ishlab chiqish" (2024 y.) mavzularidagi loyihalar doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi po'lat eritish jarayonida hosil bo'ladigan shlak chiqindilaridan marganesni ajratib olishning samarali texnologiyasini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

po'lat eritish shlaklarining kimyoviy-mineralogik tarkibini o'rganish va marganes birikmalarining mavjudlik shaklini aniqlash;

marganes tarkibli shlaklarni suyultirilgan kislotalar ishtirokida gidrometallurgik qayta ishlash usullarini ishlab chiqish;

shlak tarkibidagi marganesni eritmaga o'tkazish uchun maqbul gidrometallurgik sharoitlarni (kislota turi, konsentratsiya, harorat, vaqt, suyuq/qattiq faza nisbati) aniqlash;

gidrometallurgik usulda olingan marganesning oksidli birikmalarini metallurgik qayta ishlash yo'li bilan toza marganes kukuni olish texnologiyasini ishlab chiqish, takomillashtirish va joriy etish;

po'lat eritish jarayonida hosil bo'ladigan shlaklarni qayta ishlashning iqtisodiy samarali texnologiyasini ishlab chiqish;

po'lat eritish jarayonida hosil bo'ladigan shlaklardan ferromarganes qotishmalari uchun xomashyo olish texnologiyasini yaratish.

Tadqiqotning obykti sifatida "Olmaliq kon-metallurgiya kombinati" AJ Markaziy ta'mirlash-mexanika zavodi quyuv sexida po'latni qayta eritish jarayonida hosil bo'ladigan marganes tarkibli shlak olingan.

Tadqiqotning predmeti po'lat eritishda hosil bo'ladigan shlaklardan marganesni eritmaga o'tkazish va keyinchalik cho'ktirish orqali gidrometallurgik usulda ajratib olish texnologiyasidan iborat.

Tadqiqot usullari. Dissertatsiya ishini bajarishda eritmalardagi marganes miqdorini aniqlash uchun atom-absorbsion spektroskopiya, cho'kma mahsulotlarning fazaviy tarkibini o'rganishda rentgen difraksion (XRD) tahlil, shlak va cho'kmalarning makrostrukturasi va zarracha morfologiyasini aniqlashda skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM), kimyoviy tarkibni aniqlashda infraqizil (IK) spektrometriya va energiya tarqalishli spektroskopiya (EDS) usullaridan foydalanildi. Shuningdek, fizik-kimyoviy va texnologik parametrlarning ta'sirini baholashda laboratoriya tajribalari, eritmalarning pH o'lchash va cho'ktirish jarayonlarining kinetikasini tahlil qilish usullari qo'llanildi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

po'lat eritish jarayonida hosil bo'lgan shlaklari tarkibidagi marganes va temir oksidlarini 20-25 °C haroratda, 10-15% H₂SO₄ ishtirokida ikki bosqichli gidrometallurgik tanlab eritishning yangi texnologiyasi yaratilgan;

marganes birikmalarini suvli eritmalardan NaOH va $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ reagentlari yordamida pH 6 dan 9 gacha bo'lgan oraliqda nazoratli selektiv cho'ktirish orqali marganesning gidroksidli va karbonatli cho'kmalarini olish hamda ularning kukunsimon materiallarini kuydirish texnologiyasi ishlab chiqilgan.

gidrometallurgik usulda olingan marganesning oksidli birikmalarini 1300 °C haroratda 90 daqiqa davomida uglerod bilan qaytarish orqali toza metall marganes olish texnologiyasi yaratilgan;

po'lat eritish jarayonida hosil bo'lgan chiqindilardan gidro- va pirometallurgik jarayonlar orqali ferromarganes qotishmalarini ishlab chiqarish uchun xomashyo sifatida xizmat qiluvchi 97,9% gacha marganes oksidlarini, keyingi bosqichlarda esa 98,1% gacha temir oksidlarini ajratib olish imkonini beruvchi zanjirli texnologik sxema ishlab chiqilgan.

Tadqiqotni amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

po'lat eritish jarayonida hosil bo'ladigan shlaklarni qayta ishlashning yangi iqtisodiy samarador texnologik usuli ishlab chiqilgan;

ikki bosqichli kislotali tanlab eritish (10-15% H_2SO_4) va reagentlar (NaOH, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$) yordamida temir va marganes ionlarini cho'ktirishga asoslangan marganes tarkibli shlaklardan kukun shaklidagi oksid birikmalarini olishning muqobil texnologiyasi yaratilgan;

tarkibida marganes bo'lgan xomashyolardan gidrometallurgik usul yordamida ajratib olingan oksid birikmalarni qattiq qaytaruvchi yordamida yuqori haroratda tiklash yo'li bilan kukunsimon marganes olish texnologiyasi ishlab chiqilgan;

metallurgik shlaklarni gidrometallurgik usulda qayta ishlab ferromarganes qotishmalar uchun xomashyo hisoblangan 97,9% marganes va 98,1% temir oksidlarini olish texnologiyasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi quyidagilar bilan tasdiqlanadi: masalalarni qo'yishning to'g'riligi, laboratoriya va tajriba-sanoat sinovlarining yetarli va statistik jihatdan asoslangan hajmi; shlaklar tarkibidan marganes va temir oksidlari va marganes metallini olish texnologiyasini ishlab chiqish bo'yicha ishlarning asosiy g'oyasini miqdoriy jihatdan tasdiqlash; olingan natijalarni laboratoriya sinovlari va shlak hamda eritmaning fizik-kimyoviy nazariyalari o'zoro mos kelishi; ishlab chiqilgan qayta ishlash texnologiyasini tajriba sharoitida sinovdan o'tkazishda olingan ijobiy natijalar; taklif qilingan tavsiyalar, usullarning sanoat aprotatsiyasi va erishilgan texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlar bilan isbotlangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati marganes tarkibli shlaklarni eng maqbul maydalash darajasi, kislotasi va ishqorlar konsentratsiyasi, pH ko'rsatkichi, jarayon davomiyli hamda haroratiga bog'liq holda shakllanishining tartibi aniqlanganligi orqali asoslanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati marganes tarkibli shlaklardan ularni oksidli birikmalari kukun ko'rinishida olishning texnologik tamoyili, toza marganes metallini olish texnologiyasi, marganes oksidning 97,9% li hamda temir oksidning 98,1% li oksidlarini olish texnologiyasi, va texnologik rejimlarini ishlab chiqarishga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Po‘lat eritish jarayonida hosil bo‘ladigan shlaklar tarkibidan marganesni ajratib olish texnologiyasini ishlab chiqish bo‘yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

po‘lat eritish jarayonida hosil bo‘lgan shlaklarini qayta ishlashning yangi texnologik tamoyillari “Olmaliq KMK” AJ “Markaziy ta’mirlash mexanika zavodi” ICHBda amaliyotga joriy etilgan (“Olmaliq KMK” AJning 2024-yil 25-dekabrda SL-1466-sonli ma’lumotnomasi). Natijada shlaklarini qayta ishlashning ekologik toza va iqtisodiy samarador uslubini yaratish imkonini bergan;

marganes tarkibli shlaklarni 10-15 foizli sulfat kislota ishtirokida gidrometallurgik usullarda qayta ishlash texnologiyasi “Olmaliq KMK” AJ “Markaziy ta’mirlash mexanika zavodi” ICHBda (“Olmaliq KMK” AJning 2024-yil 25-dekabrda SL-1466-sonli ma’lumotnomasi) amaliyotga joriy qilingan. Natijada marganes hamda temirning oksidli birikmalari kukun ko‘rinishida olish imkonini bergan;

gidrometallurgik usulida olingan marganesning oksidli birikmalaridan pirometallurgik usullarda qayta ishlash texnologiyasi “Olmaliq KMK” AJ “Markaziy ta’mirlash mexanika zavodi” ICHBda (“Olmaliq KMK” AJning 2024-yil 25-dekabrda SL-1466-sonli ma’lumotnomasi) amaliyotga joriy qilingan. Natijada toza marganes metalli kukun ko‘rinishida olish imkonini bergan;

po‘lat eritish jarayonida hosil bo‘lgan shlaklardan ferro-marganes qotishmalari uchun xomashyolar olishning texnologiyasi “Olmaliq KMK” AJ “Markaziy ta’mirlash mexanika zavodi” ICHBda amaliyotga joriy etilgan (“Olmaliq KMK” AJning 2024-yil 25-dekabrda SL-1466-sonli ma’lumotnomasi). amaliyotga joriy qilingan. Natijada marganes oksidning 97,9% li hamda temir oksidining 98,1% li oksidlarini olish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 5 ta xalqaro va 1 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlari va simpoziumlarida muhokamadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e’lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 13 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan 1 ta foydali modelga patent, O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasining falsafa doktor (PhD) dissertatsiyalarini asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 6 ta maqola nashr etilgan, jumladan 4 ta respublika va 2 ta xorijiy jurnallarda.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiyaning tarkibi kirish, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati hamda ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 127 betni tashkil etgan.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida tadqiqot mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslab berilgan. Xususan, po‘lat ishlab chiqarish jarayonida marganesning legirovchi element sifatida ahamiyati, uning katta qismi shlakka o‘tib yo‘qolishi va O‘zbekistonda marganes rudasi zaxiralari cheklangan sharoitda shlaklarni qayta ishlash muqobil texnologiya ekanligi ilmiy asosda yoritilgan. Shuningdek, tadqiqotning maqsadi, vazifalari, obyekti va predmeti aniq belgilangan, ishning respublika fan-texnika

rivojlanish yo‘nalishlariga mosligi, ilmiy yangiliklari, natijalarning amaliy ahamiyati va ishonchliligi bayon qilingan. Natijalarning ishlab chiqarishga joriy etilishi va ilmiy maqolalar shaklida chop etilganligi haqida ma‘lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Shlaklar tarkibidan marganesni ajratib olish va uning jahon iqtisodiyatida tutgan o‘rni”** deb nomlangan birinchi bobida, O‘zbekiston metallurgiya sanoatida hosil bo‘ladigan marganesli shlaklar namunalarining fizik-kimyoviy xossalari tahlil qilingan. Shlak tarkibida marganes asosan MnO va Mn_2SiO_4 fazalarida mavjud bo‘lib, ularning miqdori, boshqa komponentlar (Fe_2O_3 , SiO_2 , CaO) bilan bog‘liqligi va struktura holati, XRF va XRD usullari yordamida o‘rganilgan. Ushbu bobda shlaklarning granulometrik tarkibi, parchalanuvchanligi va marganesning bog‘langan holati tavsiflangan.

Dissertatsiyaning **“Tadqiqot obyekti, shlak va eritma tarkibida marganesni aniqlashning metodikalari”** deb nomlangan ikkinchi bobida, marganesli shlaklarni sulfat va nitrat kislotalar, shuningdek natriy gidroksid eritmaları yordamida cho‘ktirish orqali marganesni eritmaga o‘tkazish shartlari tadqiq qilingan. Turli harorat (60–95 °C), reaksiya vaqti (1–5 soat), kislota konsentratsiyasi (30–100 g/dm³), pH darajasi va shlakning zarracha o‘lchamining (0.1–2 mm) marganes ajralishiga ta’siri eksperimental asosda o‘rganilgan. Temir ionlarining (Fe^0 va $FeSO_4$) qo‘shimcha sifatida qo‘llanishi marganes ajralishiga ijobiy ta’siri bo‘yicha ma‘lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Po‘lat eritish jarayonida hosil bo‘lgan shlaklardan marganes metallini ajratib olish”** deb nomlangan uchinchi bobida, sulfatli eritmalardagi marganes va temir ionlarini gidroksid (NaOH) va karbonat $(NH_4)_2CO_3$ eritmaları yordamida ketma-ket cho‘ktirish orqali selektiv ajratish usuli ishlab chiqilgan. Eritmadan temirni pH 4.5–5.0 oralig‘ida $Fe(OH)_3$ sifatida, marganesni esa pH 8.5–9.5 da $MnCO_3$ holda cho‘ktirish orqali ajratish mumkinligi tajribaviy isbotlangan. Ajralgan qattiq mahsulotlarning morfologiyasi SEM orqali, tarkibi esa XRF va XRD tahlillari orqali aniqlangan.

“Olmaliq KMK” AJ Markaziy ta’mirlesh mexanika zavodida po‘lat ishlab chiqarish shlagi EB 50×40 – L jag‘li maydalagich yordamida maydalanib, elaklanib -1 mm gacha yiriklikdagi namuna ajratildi. Bu yiriklikdagi namuna sulfat va nitrat kislotalardagi gidrometallurgik tajribalar uchun yetarli deb topildi.

Boshlang‘ich 8 ta tajriba ishida -1 mm yiriklikdagi namunalar ishlatildi, biroq yuqori konsentratsiyali kislotalar bilan to‘liq yemirilmagani aniqlandi. Qoldiq tarkibida yirik zarrachalar qolgani sababli, namuna yirikligi - 0.1 mm gacha kamaytirildi.

Keyingi bosqichda namunalar Isteratel 45T-ДPM laboratoriya maydalagichida - 0.1 mm gacha yanchildi. Bu holda namunalar to‘liq yemirilib, kislotali reaksiya samaradorligi oshdi.

Po‘lat eritish jarayonida hosil bo‘lgan shlaklarni konsentrlangan nitrat kislotalarda qayta ishlash. Shlak namunalarining EDXRF tahliliga ko‘ra, ularning tarkibida 20% dan ortiq MnO va 13% dan ortiq Fe_2O_3 mavjudligi aniqlandi. Bu shlaklar po‘lat ishlab chiqarishda marganesli ferroqotishmalar qo‘shilishi tufayli hosil bo‘ladi.

Dastlabki tajribada -1 mm yiriklikdagi 100 g shlak namunasi 50% li HNO_3 bilan 6 soat davomida aralashtirildi. Reaksiya davomida azot oksidi gazlari ajraldi va quyidagi tenglamalar asosida Mn va Fe nitratlariga aylantirildi. Filtrlashdan keyin olingan qattiq qoldiqning tahliliga ko'ra, shlakdagi marganesning 60% dan ortig'i va temirning 50% dan ko'prog'i eritmaga o'tgan. Bu holat Fe va Mn oksidlarining kimyoviy xossalari o'xshashligi bilan bog'liq. Eritma 25% li NH_4OH bilan neytrallanganda cho'kma hosil bo'ldi. Cho'kmaning rentgenofaza tahlili 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Nitrat kislota bilan qayta ishlanganda hosil bo'lgan eritmani ammoniy bilan reaksiyani natijasida olingan cho'kmaning rentgenofaza tahlili

Aniqlanayotgan elementlar, %									
<i>M</i>	MnO	MgO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Co	K ₂ O	P ₂ O ₅
%	14,23	0,022	14,33	2,701	1,078	5,552	0,0057	0,1680	0,00007
<i>M</i>	Se	Br	Zn	Zr	Nb	Mo	Cd	Pb	Sn
%	0,00001	0,03148	0,00715	0,00321	0,0003	0,01627	0,00016	0,00050	0,00053
<i>M</i>	Ti	V	Cr	Ni	Cu	Ga	Ge	As	Boshq.
%	0,03781	0,00415	0,4821	0,07649	0,02440	0,00009	0,00003	0,00002	60,927

Konsentrlangan HNO_3 bilan ishlov samarali bo'lsa-da, temir, kremniy va boshqa metallar bilan birga reaksiyaga kirishganligi tufayli ajratilgan marganesning tozaligi pasaydi. Bundan tashqari, nitrat birikmalarining filtrlanishi qiyin bo'lgani va HNO_3 ning sanoatdagi narxi yuqoriligi tufayli keyingi tajribalar sulfat kislota bilan amalga oshirildi.

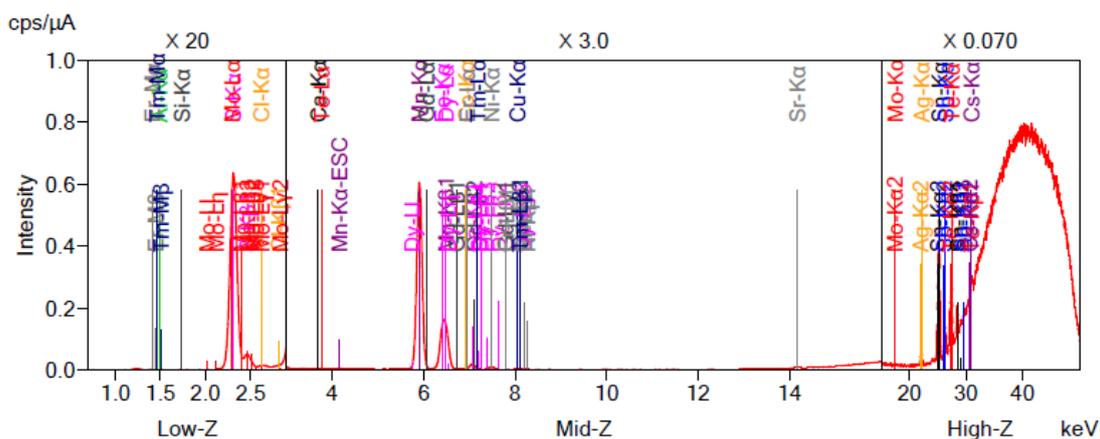
Po'lat eritish jarayonida hosil bo'lgan shlaklarni konsentrlangan sulfat kislotada qayta ishlash. 100 g shlak namunasi 98% li sulfat kislotaning suvli eritmasi bilan 1 litrlik idishda 6 soat davomida mexanik aralashtirilib qayta ishlangan. Ekzotermik xususiyati tufayli eritma qizib ketgan, filtratsiyada filtr qog'oz yemirilganligi sababli eritma suyultirilib, so'ngra filtrdan o'tkazilgan.

Qurtilgan qoldiqning EDXRF tahlili shlam tarkibida marganes (Mn) asosiy qismining saqlanib qolganini, temir esa eritmaga o'tganini ko'rsatdi. Bu esa konsentrlangan H_2SO_4 marganes ajratib olishda samarasiz ekanini isbotladi. Sulfat kislota bilan qayta ishlangandan so'ng qolgan shlamning kimyoviy tarkibi 2-jadvald va uning rentgen Spektroskopiyasi 1-rasm keltirilgan. Shlakni birlamchi natriy ishqori bilan kuydirishdan so'ng gidrometallurgik qayta ishlash. Po'lat ishlab chiqarish shlakida temir oksidi miqdorining ko'pligi sababli dastlab 200°C haroratda NaOH bilan kuydirildi, ammo natija yetarli bo'lmagani uchun keyingi tajriba 300°C da amalga oshirildi. Maqsad – temir oksidini suvda eriydigan natriy ferratga aylantirib shlamdan ajratish edi.

2-jadval

Sulfat kislota bilan qayta ishlangandan so'ng qolgan shlamning kimyoviy tarkibi

Aniqlanayotgan elementlar, %									
<i>M</i>	Mn	Mg	Fe	Si	Ca	Al	Co	K	P
%	9,226	0,0102	1,9782	5,441	1,790	0,346	0,0001	0,651	0,00003
<i>M</i>	Se	Br	Zn	Zr	Nb	Mo	Cd	Pb	Sn
%	0,00037	0,00006	0,00834	0,00096	0,00022	0,00034	0,00011	0,00002	0,00019
<i>M</i>	Ti	V	Cr	Ni	Cu	Ga	Ge	As	Boshq.
%	0,02659	0,00002	0,0941	0,00718	0,0462	0,00005	0,00003	0,00017	80,017



1-rasm. Sulfat kislotasi bilan qayta ishlangandan so‘ng qolgan shlamning rentgen spektroskopiyasi

Natijada zangori cho‘kma hosil bo‘ldi, u quritilib tahlil qilindi. Tanlab eritishdan hosil bo‘lgan eritmani natriy ishqori bilan reaksiyasi natijasida olingan cho‘kmaning kimyoviy tarkibi 3-jadvalda keltirilgan.

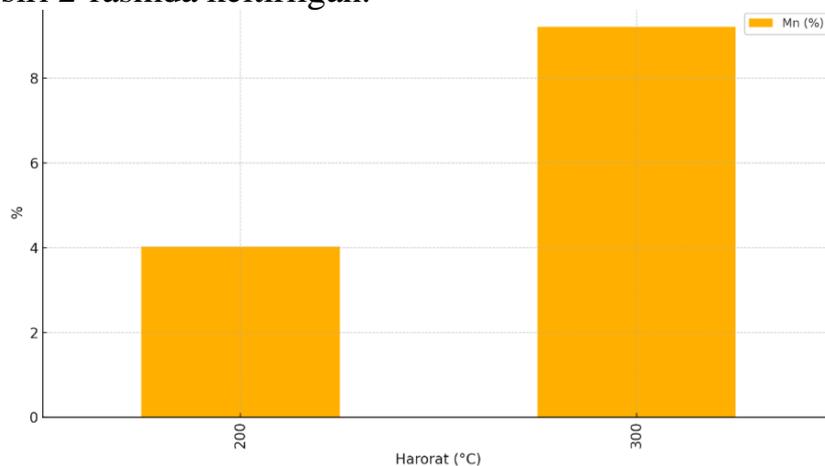
3-jadval

Tanlab eritishdan hosil bo‘lgan eritmani natriy ishqori bilan reaksiyasi natijasida olingan cho‘kmaning kimyoviy tarkibi

Aniqlanayotgan elementlar, %									
<i>M</i>	Mn	Mg	Fe	Si	Ca	Al	Co	K	P
%	34	0,28	1,09	4,172	0,21	2,27	0,0005	0,656	11,83
<i>M</i>	Rb	Br	Zn	Zr	Sb	Mo	Dy	Pb	Sn
%	0,0012	0,00008	0,0255	0,0016	0,0032	0,356	0,0362	0,00003	0,0384
<i>M</i>	Te	Sc	Cr	Ni	Os	Yb	Ge	As	W
%	0,0175	0,0556	0,0325	0,0352	0,002	0,0405	0,0002	0,00018	0,0805

Tahlillarga ko‘ra, 300°C da kuydirilgan shlakdan ajratilgan cho‘kma tarkibida 34% dan ortiq marganes va atigi ~1% temir mavjud bo‘lib, bu metod orqali selektiv ajralishga erishilgan. Kuydirishsiz ishlovlarga nisbatan bu usul samaraliroq bo‘ldi.

Shu bilan birga, marganesning bir qismi eritmaga o‘tgan bo‘lib, bu uning suvda eriydigan birikmalar hosil qilganiga bog‘liq. Bu holatni hisobga olgan holda, metodni takomillashtirish yo‘nalishlari mavjud. Kuydirish haroratining Mn ajralishiga ta’siri 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. Kuydirish haroratining Mn ajralishiga ta’siri

Sulfat kislotada ishtirokida Mn ajratib olishning tanlab eritish texnologiyasini ishlab chiqish. Sulfat kislotada bir bosqichli tanlab eritishda marganesning 40–55% eritmaga o'tsa-da, qolgan qismi shlamda saqlanib qolgan. Shuning uchun 100 gr shlak namunasi bilan 15% li H₂SO₄ eritmasida ikki bosqichli eritish tajribasi o'tkazildi. Har bir bosqichda 3 soat davomida 350–400 ayl/min tezlikda aralashtirildi, so'ngra eritmalar birlashtirildi. Eritmadagi keraksiz metall birikmalarini cho'ktirish uchun pH darajasi 6 ga olib chiqildi (NH₄OH yordamida). Bu holatda cho'kma tarkibida marganes nisbatan kam bo'lib, uning asosiy qismi hali ham eritmada saqlanib qolgani aniqlandi. cho'kma kimyoviy tarkibida 4 – jadvalda keltirilgan.

4 – jadvalda

Tanlab eritish jarajonida ajratib olingan marganes tarkibli cho'kmaning kimyoviy tarkibi (15% H₂SO₄, pH=6)

Aniqlanayotgan elementlar, %									
<i>M</i>	Mn	Mg	Fe	Si	Ca	Al	Co	K	P
%	28,7	20,8	5,33	25,7	7,6	0,477	2,65	1,204	0,201
<i>M</i>	Se	Br	Zn	Zr	Nb	Mo	Cd	Pb	Sn
%	0,0798	0,0245	0,241	0,0477	0,0356	0,0915	1,55	0,0256	0,0356
<i>M</i>	Ti	V	Cr	Ni	Cu	Ga	Ge	As	Boshq.
%	0,023	0,0059	0,0055	0,253	0,0356	0,0023	0,0124	0,345	4,524

Eritma pH=9 ga yetkazilgach, marganesning katta qismi cho'kмага tushdi, bu bosqich optimal deb topildi. 100 g shlak 10% H₂SO₄ bilan ikki bosqichda eritilib, natijaviy eritmaning pH=6 ga yetkazilganda hosil bo'lgan cho'kma tarkibida marganes miqdori past bo'lib chiqdi. Biroq pH=9 da cho'kma tarkibida marganes sezilarli darajada (33.3%) to'plandi. Shu tartibda 8% li H₂SO₄ eritmasi bilan ham ikki bosqichli eritish amalga oshirildi. pH=6 da hosil bo'lgan cho'kma tarkibida marganes kam bo'ldi, ammo pH=9–12 oralig'ida bosqichma-bosqich cho'kish natijasida marganes miqdori 65.7% (pH=9) va 79.6% (pH=12) ga yetdi. Cho'kmaning kimyoviy tarkibi 5-jadvalda keltirilgan. Sulfat kislotada ikki bosqichli tanlab eritish usuli va pH darajasini 9–12 oralig'ida sozlash orqali marganes birikmalarini yuqori darajada cho'ktirishga erishildi. Ayniqsa, 8% li H₂SO₄ va pH=12 sharoitida marganes selektiv ajratilishi eng yuqori natija berdi.

5 – jadval

Tanlab eritish jarajonida ajratib olingan marganes tarkibli cho'kmaning kimyoviy tarkibi (8% H₂SO₄, pH=12)

Aniqlanayotgan elementlar, %									
<i>M</i>	Mn	S	Fe	Al	Mo	Si	Ac	Ca	W
%	79,6	12	6,16	0,643	0,399	0,221	0,202	0,171	0,092
<i>M</i>	Tm	Sn	Cl	Yb	Ni	Br	Zn	P	Te
%	0,0484	0,0336	0,0194	0,0297	0,0229	0,0025	0,0179	0,009	0,0149
<i>M</i>	Co	Sc	Pb	Sb	Hg	Se	Cu	Os	Boshq.
%	0,0886	0,0982	0,0072	0,003	0,0107	0,0005	0,0058	0,008	0

Sulfat kislotada ikki bosqichli tanlab eritish usuli va pH darajasini 9–12 oralig'ida sozlash orqali marganes birikmalarini yuqori darajada cho'ktirishga erishildi. Ayniqsa, 8% li H₂SO₄ va pH=12 sharoitida marganes selektiv ajratilishi eng yuqori natija berdi.

Sulfat kislotasi va natriy gidroksid yordamida marganes birikmalarini cho'ktirish. Shlak ikki bosqichda 15% H₂SO₄ bilan eritilib, eritmaga NaOH yordamida pH=6 ga ko'tarilganda kam miqdorda Mn cho'kdi. pH=9 ga yetkazilganda esa asosiy marganes cho'kmaga tushdi. Cho'kmaning kimyoviy tarkibi 6 – jadval keltirilgan.

6 – jadval

Ajratib olingan marganes tarkibli cho'kmaning kimyoviy tarkibi (15% H₂SO₄, pH=9)

Aniqlanayotgan elementlar, %									
<i>M</i>	Mn	Fe	S	Al	Ca	Mo	Si	Sc	Co
%	71,5	19,2	6,32	0,522	0,425	0,39	0,185	0,0652	0,133
<i>M</i>	W	As	P	Sn	Yb	Zn	Rh	Tm	Ni
%	0,0899	0,03	0,0092	0,0422	0,0333	0,0159	0,002	0,0599	0,0422
<i>M</i>	Te	Ag	Sb	Hg	Au	Os	Sr	Br	Boshq.
%	0,0255	0,0053	0,005	0,0081	0,0043	0,0054	0,0039	0,0021	0,8756

6 – jadval marganes miqdori eng yuqori 71,5% bo'lgan holatda bu esa optimal pH=9 ning samaradorligini isbotlaydi.

10% li H₂SO₄ bilan ikki bosqichli eritishdan so'ng pH=6 da Mn miqdori past bo'ldi, pH=9 ga yetganda esa asosiy qismi cho'kmaga o'tdi. 8% li H₂SO₄ bilan o'tkazilgan eritishdan so'ng pH=6 da Mn kamaygan, ammo pH=9–12 oralig'ida bosqichma-bosqich qo'shilgan NaOH yordamida Mn miqdori cho'kmada maksimal darajaga yetdi. Ajratib olingan marganes tarkibli cho'kmaning kimyoviy tarkibi 7 – jadvalda keltirilgan.

7 – jadval

Tanlab eritish jarajonida ajratib olingan marganes tarkibli cho'kmaning kimyoviy tarkibi (8% H₂SO₄, pH=9)

Aniqlanayotgan elementlar, %									
<i>M</i>	Mn	Fe	S	Al	Mo	Si	Ca	Co	Tm
%	70,7	11,5	15,6	0,749	0,456	0,207	0,215	0,123	0,0645
<i>M</i>	W	Cl	P	Sn	Yb	Br	Ra	Tm	Ni
%	0,144	0,0284	0,0213	0,0419	0,0263	0,0013	0,0879	0,0856	0,0256
<i>M</i>	Te	Ag	Sb	Hg	Au	Rh	V	Mo	Boshq.
%	0,0188	0,0047	0,0037	0,0063	0,0047	0,0019	0,0411	0,421	0,4253

7 – jadvalda ko'rsatilgandek, ikkinchi eng yuqori marganes (70,7%) ko'rsatkichli cho'kma va kislota konsentratsiyasi kamayganda ham samarali pH oralig'larini saqlanib qoladi.

Eritmadan marganes birikmalarini natriy ishqori bilan cho'ktirish orqali ajratib olish texnologiyasi. Ushbu texnologiyada 8%, 10% va 13% li sulfat kislotasi ishtirokida ikki bosqichli tanlab eritishdan so'ng, eritmadan marganes gidroksid ko'rinishida ajratib olindi. Eritmaning pH darajasi 6 ga yetkazilganda hosil bo'lgan cho'kmada marganes miqdori past bo'lib, asosiy qismi eritmada qolgan. pH=9–12 oralig'ida esa marganesning asosiy qismi cho'kmaga tushdi.

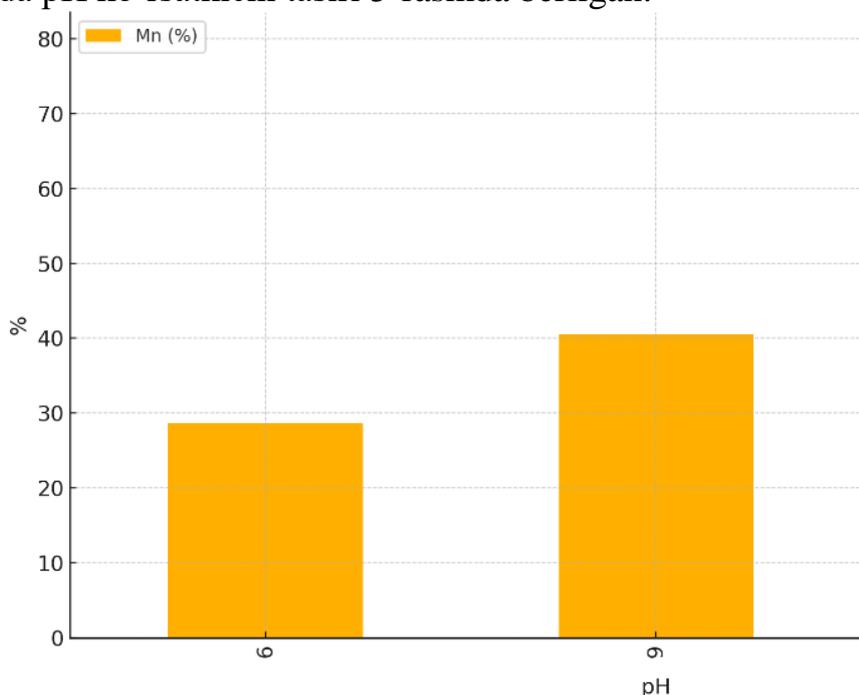
Optimal natija 10% va 15% li H₂SO₄ bilan ishlaganda, pH=9 da kuzatildi cho'kmaning kimyoviy tarkibida Mn ~71% ni tashkil etdi. Ajratilib olingan cho'kmani kimyoviy tarkibi 8 – jadvalda keltirilgan.

Tanlab eritish jarajonida ajratib olingan marganes tarkibli cho‘kmaning kimyoviy tarkibi (15% H₂SO₄, pH=9)

Aniqlanayotgan elementlar, %									
<i>M</i>	Mn	Fe	S	Al	Ca	Mo	Si	Sc	Co
%	71,5	19,2	6,32	0,522	0,425	0,39	0,185	0,0652	0,133
<i>M</i>	W	As	P	Sn	Yb	Zn	Rh	Tm	Ni
%	0,0899	0,03	0,0092	0,0422	0,0333	0,0159	0,002	0,0599	0,0422
<i>M</i>	Te	Ag	Sb	Hg	Au	Os	Sr	Br	Boshq.
%	0,0255	0,0053	0,005	0,0081	0,0043	0,0054	0,0039	0,0021	0,8756

8% li H₂SO₄ eritmasida esa pH=12 gacha oshirilganda Mg va qisman Mn cho‘kib tushdi. Mn ning pH bo‘yicha o‘zgarishi 3-rasmda ko‘rsatilgan.

Tanlab eritish jarayonida ajratib olingan eritmalarni marganesni cho‘ktirish olib borilishida pH ko‘rsatkichi tasiri 3-rasmda berilgan.



3.-rasm. pH ga qarab cho‘kma tarkibidagi Mn o‘zgarishi

Ikki bosqichli tanlab eritishdan keyin eritmadan marganes birikmalarini ammoniy karbonat bilan cho‘ktirish orqali ajratib olish texnologiyasini ishlab chiqish. Marganesli shlakdan 100 g ikki bosqichli eritish yo‘li bilan marganesni eritmaga o‘tkazish jarayonlari 15%, 10% va 8% li sulfat kislota (H₂SO₄) eritmalarida amalga oshirildi. Har bir bosqichda 300 ml kislota eritmasi, 3 soat davomida, 350–400 ayl/min tezlikda aralastirildi. Filtrlashdan so‘ng olingan eritmalar birlashtirildi va selektiv cho‘ktirish jarayoni olib borildi.

Eritmadan marganes birikmalarini ammoniy karbonat bilan cho‘ktirish (15% H₂SO₄). Eritmaning pH darajasi 6 gacha ko‘tarilganda ko‘proq temir va aralash metallar cho‘kmaga tushdi, marganes esa eritmada qoldi. pH darajasi 9 gacha oshirilganda marganesning asosiy qismi cho‘kmaga tushdi. Cho‘kmaning kimyoviy tarkibida marganes 75,4% gacha yetdi. Cho‘kmaning kimyoviy tarkibi 9-jadvalda keltirilgan.

**Tanlab eritish jarajonida ajratib olingan marganes tarkibli cho‘kmaning kimyoviy tarkibi
(15% H₂SO₄, pH=9)**

Aniqlanayotgan elementlar, %									
<i>M</i>	Mn	Fe	S	Al	Ca	Mo	Si	Sc	Co
%	75,400	14,9	7,51	0,632	0,422	0,42	0,192	0,0543	0,129
<i>M</i>	W	As	P	Sn	Yb	Zn	Rh	Tm	Ni
%	0,0909	0,024	0,0084	0,0367	0,0301	0,0135	0,0019	0,0622	0,0219
<i>M</i>	Te	Ag	Sb	Hg	Au	Os	Sr	Br	Boshq.
%	0,0157	0,0049	0,004	0,0073	0,0039	0,0054	0,0045	0,0019	0,4235

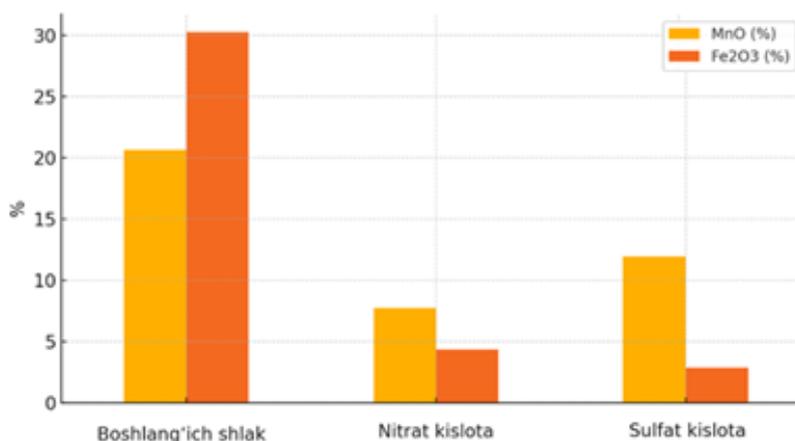
10% li H₂SO₄ eritmasida cho‘ktirish. Xuddi shu jarayon 10% li kislota eritmasida takrorlandi. pH = 6 da marganes miqdori past bo‘lib, asosiy qismi eritmada qoldi. pH = 9 ga yetkazilganda esa marganes 79,4% gacha cho‘kmaga tushdi. Tanlab eritish jarajonida ajratib olingan marganes tarkibli cho‘kmaning kimyoviy tarkibi 10 – jadvalda keltirilgan.

**Tanlab eritish jarajonida ajratib olingan marganes tarkibli cho‘kmaning kimyoviy tarkibi
(10% H₂SO₄, pH=9)**

Aniqlanayotgan elementlar, %									
<i>M</i>	Mn	Fe	S	Al	Ca	Mo	Si	Sc	Co
%	79,4	11,9	5,51	0,756	0,596	0,456	0,256	0,0652	0,135
<i>M</i>	W	As	P	Sn	Yb	Zn	Rh	Tm	Ni
%	0,0856	0,019	0,0079	0,0359	0,0356	0,0155	0,0021	0,0588	0,019
<i>M</i>	Te	Ag	Sb	Hg	Au	Os	Sr	Br	Boshq.
%	0,0144	0,0003	0,0043	0,0053	0,00024	0,0024	0,0035	0,0025	0,6134

8% li kislota eritmasida ham ikki bosqichli eritish va selektiv cho‘ktirish bajarildi. pH = 6 da marganes tarkibi cho‘kmada kam bo‘lib, eritmada qolganligi aniqlandi. pH = 9 ga yetkazilganda esa cho‘kmadagi marganes miqdori 74,4% ni tashkil etdi. Tajribalar natijasida aniqlanishicha, pH = 9 darajasi marganesni eritmada cho‘ktirish uchun optimal qiymat bo‘lib, bu holatda marganes 74–79% gacha miqdorda ajratib olindi.

Barcha o‘tkazilgan tajribalarga asoslanib shlak tarkibidagi MnO va Fe₂O₃ o‘zgarishi grafigi 4-rasmda ko‘rsatilgan.



4-rasm. Shlak tarkibidagi MnO va Fe₂O₃ o‘zgarishi

Eritma tarkibidan marganesni turli xil reagentlar yordamida ajratib olish

Tanlab eritishdan keyin hosil bo‘lgan sulfat kislotali eritmalaridan marganesni ajratib olish uchun oldin zararli elementlar (Fe, Al, Mg, Ca, Cr) cho‘ktirish yo‘li bilan eritmadan tozalandi. Tarkibida marganes saqlagan sulfat kislotali eritmani kimyoviy tarkibi 11 – jadvalda keltirilgan.

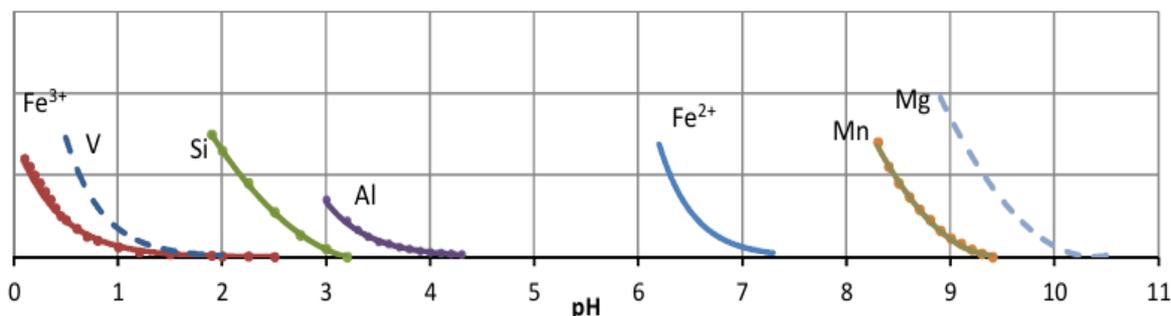
11 – jadval

Tarkibida marganes saqlagan sulfat kislotali eritmani kimyoviy tarkibi.

Marganes tarkibli eritmalar №	Elementlar miqdori, g dm ⁻³						
	Mn	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Cr
1	12,86	0,377	0,124	2,73	0,52	0,959	0,0081
2	12,1	0,39	0,04	2,64	0,503	0,119	0,0055
3	13,36	8,54	-	2,53	-	-	-
4	12,73	2,84	-	2,45	-	-	-
5	37,1	37,67	0,89	7,6	0,46	1,16	0,043
6	8,81	0,17	0,0095	0,0084	1,97	0,41	0,12
7	10,17	1,268	24,25	0,0074	1,98	0,353	0,19

Metallar gidroksidlarining cho‘kish pH diapazoni 4-rasmda berilgan. pH = 4–5 oraliq‘ida Al³⁺, Fe³⁺, Cr³⁺, pH = 7–8 da esa Fe²⁺ cho‘kadi, marganes esa pH = 8,5–9,5 oraliqda aktiv cho‘kadi. Biroq magniy bilan birgalikda cho‘kishi ehtimoli yuqori, chunki ularning cho‘kish intervali yaqin. Shuning uchun toza marganes gidroksidini olishda pH = 8,5–9,0 oraliqda ishlash tavsiya etiladi.

Reagent sifatida NH₄OH, NaOH va (NH₄)₂CO₃ ishlatildi. Cho‘ktirishdan oldin eritmalar 1 soat aralashtirildi, so‘ng filtrlanib, cho‘kmalar 120 °C da quritildi. Tanlab eritish jarayonidan so‘ng ajratib olingan eritmani tarkibidagi marganesni ajratib olish uchun yuqorida keltirilgan gidroksidlar va tuzlardan foydalanildi. Jarayon selektive cho‘ktirish aalga oshirildi.



5 – rasm. Metallar gidroksidlarini cho‘kmaga o‘tish jarayonini eritmani pH ko‘rsatgichi bog‘liqligi

Eritmalar tarkibidan zararli qo‘shimchalardan tozalash bo‘yicha tadqiqot tajribalari 12 – jadvalda keltirilgan.

Eritmalar tarkibidan zararli qo‘shimchalardan tozalash bo‘yicha tadqiqot tajribalari

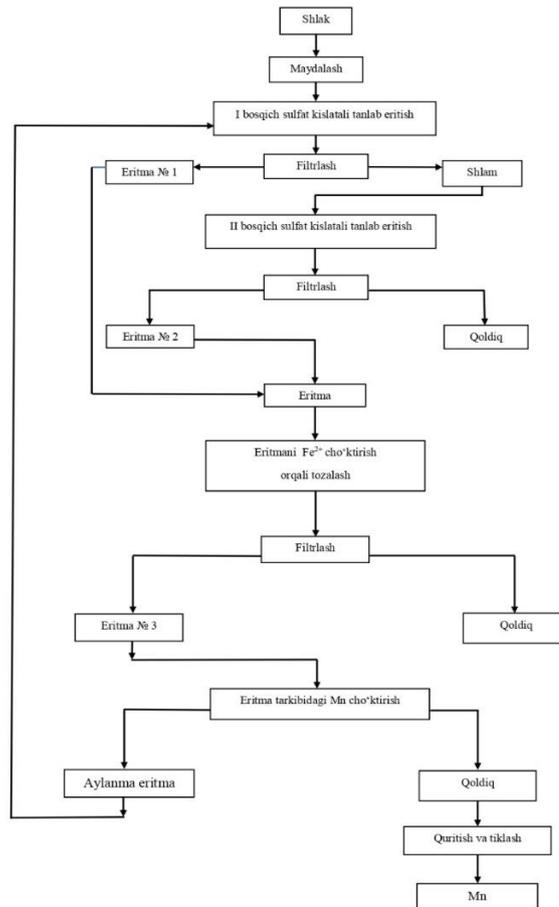
Tajriba №	H ₂ SO ₄ eritmasi		Cho‘ktiruvchi reagent	Eritma %	Cho‘kma		
	V	pH			Og‘irlik qismi %		Ajralishi, %
					Mn	Fe	Mn
1-17	300	pH=-0,325	NH ₄ OH	15	Cho‘kma №1		
		pH=-0,205		28,7	5,33	18,9	
				10	Cho‘kma №2		
	pH=0,025	21,8		29,8	15,6		
		8		Cho‘kma №3			
		23,3		30,7	16,6		
21-33	300	pH=-0,325	(NH ₄) ₂ CO ₃	15	Cho‘kma №4		
		pH=-0,205		29,3	42,4	14,2	
				10	Cho‘kma №5		
	pH=0,025	32,3		40,5	16,4		
		8		Cho‘kma №6			
		32,3		45,8	15,9		
39-55	300	pH=-0,325	NaOH	15	Cho‘kma №7		
		pH=-0,205		38,25	35,3	21,5	
				10	Cho‘kma №8		
	pH=0,025	35,55		37,4	20,8		
		8		Cho‘kma №9			
		31,3		45,2	23,4		

12 – jadvaldagi ma’lumotlarga asoslanib NH₄OH bilan Mn ajralish: 76,4% gacha, (NH₄)₂CO₃ bilan: 95,6% gacha, NaOH bilan: 85,4% gacha ajralishiga cho‘ktiruvchini va muhit katta ahamiyatga ega.

Dissertatsiyaning “**Marganesli shlaklarni qayta ishlash texnologiyasini ishlab chiqish**” deb nomlangan to‘rtinchi bobida o‘tkazilgan tadqiqotlar asosida marganesli shlaklarni qayta ishlashning texnologik sxemasi va operatsiyalar rejimi ishlab chiqildi (5-rasm) va iqtisodiy samaradorligi hisoblanga.

Shlak uch bosqichli sulfat kislotali eritishga uchratiladi (Q:S = 1:3, T = 20–25 °C, τ = 1 soat). Hosil bo‘lgan eritmalarda marganes (~34 g/l) va pH<2 da Fe, Si, Mg, Al, Ca kabi aralashmalar bo‘ladi. Eritma pH = 4–5 gacha ko‘tarilib, kek bilan reaksiyaga kirishib zararli aralashmalardan tozalanadi. So‘ngra (NH₄)₂CO₃ qo‘shilib MnCO₃ cho‘ktiriladi. Yuvish, quritish va kuydirish orqali marganes oksidlari olinadi.

Qoldiq eritma aylanma tizimda ishlatiladi. Magniy to‘planib pH > 10,5 ga yetganda Mg(OH)₂ ko‘rinishida ajratiladi. Ortiqcha eritmadan (NH₄)₂SO₄ azotli o‘g‘it cho‘kmasi olinadi. Eritma va cho‘kma balanslari tajriba-sanoat sinovida aniqlanadi. Umumiy marganes ajralish darajasi ~80%.



6-rasm – Marganes tarkibli shlaklarni qayta ishlashning asosiy texnologik sxemasi.

Po‘lat ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan shlaklarni qayta ishlash orqali maranganets oksidi kukunini ajratib olish texnologiyasi ishlab chiqildi va uning texnika-iqtisodiy samaradorligi asoslab berildi. Taklif etilgan ikki bosqichli selektiv chiqindilarni kislotali eritmalar yordamida eritib olish texnologiyasi asosida 1000 kg shlakdan 191 kg maranganets ajratib olinadi, bu esa 92,56% ajralish darajasini ta’minlaydi. Ajratilgan mahsulot – maranganets oksidi kukuni – 80% dan ortiq Mn tarkibiga ega bo‘lib, u import o‘rnini bosuvchi sifatida metallurgiya sanoatida qo‘llaniladi.

Tajriba-sanoat sharoitida o‘tkazilgan material balanslari asosida ishlab chiqarish korxonasi AO “Olmaliq KMK” texnologiyani joriy etish hisob-kitoblari amalga oshirildi. Shlakni qayta ishlashning umumiy tannarxi 343 625 so‘m/kg ni tashkil etadi, mahsulot narxi esa 902 000 so‘m/kg ga teng. Bu esa har bir kilogramm mahsulotdan 558 375 so‘m sof foyda olish imkonini beradi. Hisob-kitoblarga ko‘ra, texnologiya sarmoyasi 1 yildan kamroq muddatda o‘zini oqlaydi.

Yangi texnologiya joriy etilishi natijasida maranganetsni import qilish hajmi 80% ga kamayadi, ishlab chiqarilayotgan ferromaranganets o‘rnini bosuvchi mahsulotning yillik foydasi 558 million so‘mni tashkil etadi. Mazkur yondashuv metallurgiya sanoatida chiqindilarni minimallashtirish, iqtisodiy samaradorlikni oshirish va resurslardan oqilona foydalanish imkonini yaratadi.

Tajriba-sanoat sinovlari uchun 250 kg/sutka quvvatga ega, zanglamaydigan po‘lat, titan yoki rezina/emalli qoplamali uskunalardan iborat sxema taklif qilindi (6-rasm).

XULOSALAR

1. Po‘lat eritish jarayonida hosil bo‘lgan marganesli shlaklarning mineralogik va kimyoviy tarkibini chuqur o‘rganish asosida ularning qayta ishlanishga yaroqliligi isbotlandi, bu esa ilmiy asoslangan texnologik yondashuvlarni ishlab chiqishga xizmat qildi.

2. Marganesli shlaklardan marganesni eritmaga ajratish uchun gidrometallurgik jarayonning eng samarali sharoitlari aniqlab olindi. Jumladan, 10–15% konsentratsiyadagi sulfat kislotasi eritmasidan foydalanish, optimal pH darajasini saqlash, harorat va suyuq/qattiq fazalar nisbatini to‘g‘ri tanlash selektiv eritish jarayonining samaradorligini oshiruvchi muhim omillar sifatida belgilandi. Olib borilgan tajribalar natijasida ushbu parametrlar asosida marganesning eritmaga ajralish darajasi maksimal 82% gacha yetgani qayd etildi. Bu esa kislota konsentratsiyasining, eritish sharoitlarining to‘g‘ri tanlanishi selektiv ajratish imkoniyatini sezilarli darajada oshirishga xizmat qiladi.

3. Marganesli shlaklarni ikki bosqichli tanlab eritish jarayonidan hosil bo‘lgan eritmani tarkibidagi marganes va temirni selektiv gidroksid ko‘rinishida 2 xil pH ko‘rsatkichida cho‘ktirish orqali oksidli birikmalar shaklida ajratib olish texnologiyasi ishlab chiqildi, bu metod selektiv ajralishga erishish va mahsulotni sanoat miqyosida qo‘llashga xizmat qiladi.

4. Gidrometallurgik usulda olingan marganes oksidlaridan pirometallurgik usulda marganesli oksidni koks bilan tiklash orqali 90–95% tozalikka ega marganes metalli kukuni olish texnologiyasi ishlab chiqildi, bu esa metallurgik mahsulotlar sifatini oshirishga xizmat qiladi.

5. Tadqiqot asosida po‘lat eritish shlaklarini suyultirilgan kislotalar yordamida tanlab eritish va eritma tarkibidan past konsentratsiyali NaOH va $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ yordamida ajratilib olinishi va aylanma eritma jarayonda qayta ishlatilishi ekologik toza va iqtisodiy samarador qayta ishlash texnologiyasi taklif qilindi, bu ishlab chiqarish chiqindilarining kamayishi va resurslardan oqilona foydalanishni ta’minlaydi.

6. “Olmaliq KMK” AJ tarkibidagi Markaziy ta’mirlash mexanika zavodida ICHBda marganes tarkibli shlaklarni gidrometallurgik qayta ishlash texnologiyasi amaliyotga joriy etildi va uning asosida marganes oksidining 97,9% hamda temir oksidining 98,1% li kukunlari olindi. Bu esa ajratib olingan marganes oksidini import o‘rnini bosuvchi mahsulot sifatida xizmat qiladi.

7. Ishlab chiqilgan gidrometallurgik texnologiya mahalliy sharoitlarga moslashtirilib, laboratoriya tajribalarida sinovdan o‘tkazildi. Optimal parametrlar asosida marganesning eritmaga o‘tish darajasi 90%, cho‘kmadagi tozaligi esa 75–87% gacha yetdi. Bu texnologiyaning amaliy joriy etish uchun yaroqliligini va yuqori samaradorlikka ega ekanini isbotladi.

8. Ishlab chiqilgan ikki bosqichli gidrometallurgik texnologiya marganesli shlaklardan yuqori tozalikka ega oksidli birikmalarni ajratib olish va ularni pirometallurgik qayta ishlash orqali toza marganes metalli kukuni olish imkonini beradi, bu esa po‘lat ishlab chiqarish chiqindilarini qayta ishlashda yuqori samaradorlikka ega, ekologik xavfsiz va sanoatga joriy etilishi mumkin bo‘lgan innovatsion yechim sifatida xizmat qiladi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ
DSc.22/30.12.2019.Т.98.01 ПРИ ФИЛИАЛЕ НАЦИОНАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА «МИСИС» В ГОРОДЕ АЛМАЛЫК**

**АЛМАЛЫКСКИЙ ФИЛИАЛ ТАШКЕНТСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

МИРЗАВАЛИЕВ ДОСТОНБЕК БАХОДИР УГЛИ

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МАРГАНЦА ИЗ
ШЛАКОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ**

**05.02.01 – Материаловедение в машиностроении. Литейное производство.
Термическая обработка и обработка металлов давлением. Металлургия черных,
цветных и редких металлов (технические науки)**

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

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № B2025.1.PhD/T5328

Диссертация выполнена в Филиале Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» в городе Алмалык.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен в веб-странице Научного совета (www.misis.uz) и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:	Пармонов Сарвар Тошпулатович доктор технических наук, доцент
Официальные оппоненты:	Бердияров Бахриддин Тиловкабулович доктор технических наук, доцент Маткаримов Сохиб Турдалиевич доктор технических наук, профессор
Ведущая организация:	Навоийский государственный горно-технологический университет

Защита диссертации состоится «5» декабря 2025 года в 14⁰⁰ на заседании Научного совета DSc.22/30.12.2019.T.98.01 при филиала Национального исследовательского технологического университета «МИСИС» в г. Алмалык. Адрес: 110101, г. Алмалык, ул. Амира Темура, 56. Зал заседаний Тел.: (+99870) 614-22-82; e-mail: info@misis.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Филиала Национального исследовательского технологического университета «МИСИС» в г. Алмалык (зарегистрирован за № 25-40-Д). Адрес: 110101, г. Алмалык, ул. Амира Темура, 56. Тел.: (70) 614-22-57.

Автореферат диссертации разослан «20» ноября 2025 г.
(реестр протокола рассылки №31 от «20» ноября 2025 г.).

Ф.Я. Умаров
Председатель Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

Г.С. Нутфуллоев
Ученый секретарь Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н., доцент

Ш.Ш. Заиров
Председатель Научного семинара при Научном
совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации. В мировой горно-металлургической промышленности важно совершенствовать различные технологические процессы по подготовке руд к переработке, их полному и эффективному освоению, а также извлечению полезных элементов из вторичных источников сырья и отходов, образующихся при их переработке, в частности, из шлаков, образующихся в процессе выплавки стали. При этом комплексная переработка шлаков, образующихся в процессе выплавки стали, имеет важное значение для металлургической промышленности, что требует решения различных технических, технологических, организационных и других проблем. Установлено, что большая часть марганца, используемого в процессе выплавки стали, переходит в шлак из-за нестабильного протекания процесса. Несмотря на то, что в последние годы было проведено множество исследований по совершенствованию процесса выплавки стали в электродуговых сталеплавильных печах, наиболее перспективным направлением остается удовлетворение спроса на марганец путем его извлечения из шлаков, образующихся в процессе. В ближайшем будущем важно уделить внимание развитию металлургии, горнодобывающей промышленности и переработки отходов, образующихся в процессе выплавки стали.

В настоящее время в мире проводятся масштабные научные исследования по эффективной переработке марганцевых шлаков, образующихся в процессе производства стали, максимальному извлечению ценных элементов из шлака, в частности, марганца в раствор, очистке извлеченного марганца и получению продуктов, пригодных для использования. В связи с этим особое внимание уделяется гидрометаллургическим методам извлечения марганца из шлака, в частности, совершенствованию процесса выщелачивания серной кислотой, эффективному осаждению перешедшего в раствор марганца, повышению степени извлечения под воздействием дополнительных реагентов, а также определению технологических условий, способствующих повышению качества полученных продуктов.

В Республике Узбекистан внедряются современные и научно обоснованные меры по повышению эффективности деятельности АО «Навоийский ГМК» и АО «Алмалыкский ГМК». В результате достигаются важные научно-практические результаты. В Постановлении¹ Президента Республики Узбекистан определены такие важные задачи, как «разработка программ по сокращению выбросов в окружающую среду на крупных предприятиях горно-металлургической промышленности и других базовых отраслей...» В контексте поставленных задач одним из приоритетных направлений является разработка технологии извлечения марганца из

¹ Постановление Президента Республики Узбекистан от 17 января 2019 года № ПП-4124 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности предприятий горно-металлургической отрасли»

металлургических шлаков. Актуальность данной темы определяется как её научной новизной, так и практической значимостью для металлургической отрасли.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит реализации задач, установленных в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы» Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-4124 от 17 января 2019 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности предприятий горно-металлургической отрасли», № ПП-4477 от 4 октября 2019 года «Об утверждении Стратегии перехода Республики Узбекистан к «зеленой экономике» на период 2019-2030 годов», № ПП-4715 от 15 мая 2020 года «О мерах по дальнейшему расширению объемов промышленного производства в Ташкентской области», № ПП-5159 от 24 июня 2021 года «О дополнительных мерах по развитию горно-металлургической промышленности и связанных с ней отраслей» а также в других нормативно-правовых документах, относящихся к данной сфере деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и техники Республики П. «Энергетика, энергетическая и ресурсо эффективность».

Степень изученности проблемы. Значительный вклад в развитие методов извлечения марганца из шлаков, образующихся в процессах переплавки железа, и других технологических отходов, а также их переработки и превращения в экономически эффективные продукты внесли следующие зарубежные и отечественные ученые: М. Мотовилов, А.Н. Дубровский, В.В. Зубов, А.А. Сучков, Л.И. Леонтьев, J.H. Hoffmann, Y. Wang, Z. Zhu, S. Komarov, H. Yamaguchi, M. Mahiuddin, B.S. Park, A. Tastanova, W. Li, W. Zhang, C. Y. Cheng, V. Xolger, L-M. Xorst, J.V. McMahan, A.A. Александров, W. T. Rashid, O.M. Исаков, K.C. Санакулов, A.C. Хасанов, С.Т.Пармонов и другие.

В мировой практике хорошо зарекомендовала себя технология, разработанная такими учеными, как А.Е.Руденко, В.А.Лебедев, А.М.Кузнецов, Ф.Хабаш, Ю.Чжан, включающая извлечение марганца из шлаков, образующихся при выплавке стали, посредством реакций окисления и восстановления, перевод марганца в раствор гидрометаллургическими методами, а также использование железосодержащего сырья, карбонатных соединений, сульфидов и других реагентов в качестве восстановителей. Разрабатываемая технология позволяет вовлечь в производственный цикл переработку марганецсодержащих шламовых отходов, которые в настоящее время считаются экономически малоэффективными, так как требуют больших энергозатрат и значительного количества восстановителей и представляют серьезную экологическую проблему. Предложенный в диссертационной работе процесс переработки марганецсодержащих шлаков, образующихся при

переплавке сталей, осуществляется с высокой интенсивностью в герметичных условиях, а дальнейшая обработка полученных агломератов включает в себя стадии удаления кремния, промывки, нейтрализации и осаждения.

По этому совершенствование существующих и разработка новых технологических решений по переработке шлаков, образующихся при выплавке стали, представляет собой актуальную научную и практическую задачу. Это направление имеет особое значение для повышения эффективности гидрометаллургических методов переработки металлургических отходов и рационального использования минерально-сырьевых ресурсов.

Связь темы диссертации с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Исследование выполнено в соответствии с научным планом работ Алмалыкского филиала Ташкентского государственного технического университета им. И. Каримова в рамках реализации проекта № АК-13, посвящённого созданию технологии извлечения марганца из сталеплавильных шлаков (2024 год).

Целью исследования заключается в разработке эффективной технологии извлечения марганца из шлаковых отходов, образующихся в процессе выплавки стали.

Задачи исследования:

исследование химико-минералогического состава сталеплавильных шлаков и выявление формы присутствия соединений марганца;

разработка методов гидрометаллургической переработки марганецсодержащих шлаков в присутствии разбавленных кислот;

определение оптимальных гидрометаллургических условий (тип кислоты, концентрация, температура, время, соотношение жидкой/твёрдой фазы) для перевода марганца, содержащегося в шлаке, в раствор;

совершенствование и внедрение технологии получения чистого порошка марганца путем металлургической переработки оксидных соединений марганца, полученных гидрометаллургическим методом;

разработка экономически эффективной технологии переработки шлаков, образующихся в процессе выплавки стали;

создание технологии получения сырья для ферромарганцевых сплавов из шлаков, образующихся в процессе выплавки стали;

Объектом исследования является марганецсодержащий шлак, образующийся в процессе переплавки стали в литейном цехе Центрального ремонтно-механического завода АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат».

Предметом исследования является технология гидрометаллургического извлечения марганца из шлаков, образующихся при выплавке стали, путем перевода марганца в раствор с последующим осаждением.

Методы исследования. При выполнении диссертационной работы для определения содержания марганца в растворах использовалась атомно-абсорбционная спектроскопия, рентгенодифракционный анализ (РДА) для

изучения фазового состава осадочных продуктов, сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) для определения макроструктуры и морфологии частиц шлака и осадка, инфракрасная (ИК) спектроскопия и энергодисперсионная спектроскопия (ЭДС) для определения химического состава. Для оценки влияния физико-химических и технологических параметров в ходе исследования были использованы лабораторные эксперименты, методы измерения рН растворов, а также анализ кинетики процессов осаждения.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана новая двухстадийная гидрометаллургическая технология селективного выщелачивания оксидов марганца и железа, содержащихся в шлаках, образующихся при выплавке стали, при температуре 20–25 °С в присутствии 10–15% раствора H_2SO_4 ;

разработана технология получения гидроксидных и карбонатных осадков марганца путём контролируемого селективного осаждения его соединений из водных растворов с использованием реагентов NaOH и $(NH_4)_2CO_3$ в интервале рН 6–9, а также технология прокаливания полученных порошкообразных материалов;

на основе гидрометаллургических операций создана технология получения чистого металлического марганца путём восстановления полученных оксидных соединений марганца углеродом при температуре 1300 °С в течение 90 минут;

разработана цепная технологическая схема, позволяющая перерабатывать отходы сталеплавильного процесса гидро- и пирометаллургическими методами для получения марганцевого сырья, пригодного для производства ферромарганцевых сплавов. Данная схема обеспечивает извлечение до 97,9% оксидов марганца на ранних стадиях и до 98,1% оксидов железа на последующих этапах переработки.

Практические результаты исследования:

разработан новый экономически эффективный технологический метод переработки шлаков, образующихся в процессе выплавки стали;

создана альтернативная технология получения порошкообразных оксидных соединений из марганецсодержащих шлаков, основанная на двухстадийном кислотном селективном выщелачивании (10–15% H_2SO_4) и последующем осаждении ионов железа и марганца с использованием реагентов NaOH и $(NH_4)_2CO_3$;

разработана технология получения порошкообразного металлического марганца путём восстановления выделенных гидрометаллургическим методом оксидных соединений марганца твёрдым восстановителем при высоких температурах;

создана технология гидрометаллургической переработки металлургических шлаков, обеспечивающая получение 97,9% оксидов марганца и 98,1% оксидов железа, которые могут служить сырьём для производства ферромарганцевых сплавов.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обеспечиваются корректной формулировкой исследовательских

задач, достаточным объемом экспериментальных и полупромышленных испытаний, подтвержденных статистической обработкой данных. Основные положения технологии извлечения оксидов марганца и железа, а также металлического марганца из шлаковых отходов подтверждены с помощью ответов экспериментов и анализов. Результаты находятся в соответствии с данными лабораторных опытов и теоретическими положениями, описывающими физико-химические свойства шлаков и растворов. Эффективность разработанной технологии подтверждена результатами опытных внедрений, а также промышленной апробацией предложенных методик, рекомендациями практического характера и достигнутыми показателями технической и экономической эффективности.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость полученных результатов заключается в обосновании оптимальных технологических параметров переработки марганецсодержащих шлаков, включая степень их измельчения, концентрации применяемых кислот и щелочей, диапазон pH, продолжительность стадий обработки, а также последовательность проведения операций в зависимости от температурных условий.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке технологического параметров получения порошкообразных оксидных соединений из марганецсодержащих шлаков, технологии получения чистого металлического марганца, технологии и технологических режимов получения оксида марганца с чистотой 97,9% и оксида железа с чистотой 98,1%.

Внедрение результатов исследования. Исходя из полученных в ходе исследований данных, посвященных разработке технологических решений по извлечению марганца из сталеплавильных шлаков достигнуто следующее:

новые технологические принципы переработки шлаков, образующихся в процессе выплавки стали, внедрены в практику на на производственном предприятии «Центральный ремонтно-механический завод» АО «Алмалыкский ГМК» (справка АО «Алмалыкский ГМК» № SL-1466 от 25 декабря 2024 г.). В результате обеспечено создание экологически чистого и экономически эффективного способа переработки шлаков.

технология гидрометаллургической переработки марганецсодержащих шлаков в присутствии 10–15% серной кислоты внедрена на на производственном предприятии «Центральный ремонтно-механический завод» АО «Алмалыкский ГМК» (справка АО «Алмалыкский ГМК» № SL-1466 от 25 декабря 2024 г.). В результате получены оксидные соединения марганца и железа в порошкообразной форме.

технология пирометаллургической переработки оксидных соединений марганца, полученных гидрометаллургическим методом, внедрена на на производственном предприятии «Центральный ремонтно-механический завод» АО «Алмалыкский ГМК» (справка АО «Алмалыкский ГМК» № SL-1466 от 25 декабря 2024 г.). Это позволило получить чистый металлический марганец в порошкообразной форме.

технология получения сырья для ферромарганцевых сплавов из шлаков, образующихся при выплавке стали, внедрена на на производственном предприятии «Центральный ремонтно-механический завод» АО «Алмалыкский ГМК» (справка АО «Алмалыкский ГМК» № SL-1466 от 25 декабря 2024 г.). В результате обеспечено получение 97,9% оксида марганца и 98,1% оксида железа.

Апробация результатов исследования. Полученные результаты нашли отражение в докладах, представленных на 4 международных и 2 республиканских научных форумах, включая конференции и симпозиумы.

Публикация научных результатов. По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, из них 1 патент на полезную модель, 6 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций доктора философии (PhD), в том числе 4 в республиканских и 2 в зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 127 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы исследования. В частности, научно обосновано значение марганца в качестве легирующего элемента в процессе производства стали, значительная его часть теряется в шлаке, а переработка шлаков в условиях ограниченных запасов марганцевой руды в Узбекистане является альтернативной технологией. Также четко определены цель, задачи, объект и предмет исследования, изложено соответствие работы направлениям научно-технического развития республики, научная новизна, практическая значимость и достоверность результатов. Представлена информация о внедрении результатов в производство и публикации в виде научных статей.

В первой главе диссертации «**Извлечение марганца из шлаков и его роль в мировой экономике**» проанализированы физико-химические свойства образцов марганцевых шлаков, образующихся в металлургической промышленности Узбекистана. Марганец в шлаке присутствует в основном в фазах MnO и Mn_2SiO_4 , их количество, связь с другими компонентами (Fe_2O_3 , SiO_2 , CaO) и структурное состояние изучены методами XRF и XRD. В данной главе описаны гранулометрический состав шлаков, их разрушаемость и связанное состояние марганца.

Во второй главе диссертации «**Объект исследования, методы определения марганца в шлаке и растворе**» исследованы условия перехода марганца в раствор путем выщелачивания марганцевых шлаков серной и азотной кислотами, а также растворами гидроксида натрия. Экспериментально изучено влияние различных температур (60-95 °C), времени реакции (1-5

часов), концентрации кислоты (30-100 г/дм³), уровня pH и размера частиц шлака (0,1-2 мм) на выделение марганца. Приведены данные о положительном влиянии применения ионов железа (FeO и Fe₂O₄) в качестве добавок на выделение марганца.

В третьей главе диссертации «**Извлечение металлического марганца из шлаков, образующихся в процессе выплавки стали**» разработан метод селективного извлечения ионов марганца и железа из сульфатных растворов путем последовательного осаждения растворами гидроксида (NaOH) и карбоната (NH₄)₂CO₃. Экспериментально доказано, что железо можно выделить из раствора в виде Fe(OH)₃ при pH 4,5-5,0, а марганец - в виде MnCO₃ при pH 8,5-9,5. Морфология выделенных твердых продуктов определялась с помощью SEM, а состав - с помощью XRF и XRD анализа.

На Центральном ремонтно-механическом заводе АО «Алмалыкский ГМК» шлак сталеплавильного производства измельчался с помощью щековой дробилки ЭБ 50×40 - L, просеивался и отделялся образец крупностью до -1 мм. Образец такой крупности был признан достаточным для гидрOMETаллургических экспериментов в серной и азотной кислотах.

В экспериментальных работах использовались образцы крупностью -1 мм, но было обнаружено, что они не полностью разрушались кислотами высокой концентрации. Из-за того, что в составе остатка оставались крупные частицы, крупность образца была уменьшена до -0,1 мм.

Переработка шлаков, образующихся в процессе выплавки стали, в концентрированной азотной кислоте. Анализ образцов шлака методом EDXRF показал, что они содержат более 20% MnO и более 13% Fe₂O₃. Эти шлаки образуются в результате добавления марганцевых ферросплавов при производстве стали.

В предварительном эксперименте 100 г образца шлака крупностью -1 мм перемешивали с 50% HNO₃ в течение 6 часов. В ходе реакции выделялись оксиды азота, а Mn и Fe превращались в нитраты согласно следующим уравнениям.

Анализ твердого остатка, полученного после фильтрации, показал, что более 60% марганца и более 50% железа из шлака перешли в раствор. Это связано со сходством химических свойств оксидов Fe и Mn. При нейтрализации раствора 25%-ным NH₄OH образовался осадок. Рентгенофазовый анализ осадка представлен в табл. 1.

Таблица 1

Рентгенофазовый анализ осадка, полученного в результате реакции полученного раствора с аммонием при обработке азотной кислотой

Определяемые элементы, %									
<i>M</i>	MnO	MgO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Co	K ₂ O	P ₂ O ₅
%	14,23	0,022	14,33	2,701	1,078	5,552	0,0057	0,1680	0,00007
<i>M</i>	Se	Br	Zn	Zr	Nb	Mo	Cd	Pb	Sn
%	0,00001	0,03148	0,00715	0,00321	0,0003	0,01627	0,00016	0,00050	0,00053
<i>M</i>	Ti	V	Cr	Ni	Cu	Ga	Ge	As	другие
%	0,03781	0,00415	0,4821	0,07649	0,02440	0,00009	0,00003	0,00002	60,927

Хотя обработка концентрированной HNO_3 была эффективной, чистота выделенного марганца снизилась из-за его реакции с железом, кремнием и другими металлами. Кроме того, из-за сложности фильтрации нитратных соединений и высокой промышленной стоимости HNO_3 последующие эксперименты проводились с серной кислотой.

Обработка шлаков, образующихся в процессе выплавки стали, концентрированной серной кислотой. 100 г образца шлака обрабатывали механическим перемешиванием 98%-ным водным раствором серной кислоты в 1-литровой емкости в течение 6 часов. Из-за экзотермических свойств раствор нагревался, а из-за разрушения фильтровальной бумаги при фильтрации раствор разбавляли, а затем фильтровали.

Анализ EDXRF высушенного остатка показал, что основная часть марганца (Mn) сохраняется в шламе, а железо переходит в раствор. Это доказало, что концентрированная H_2SO_4 неэффективна при извлечении марганца. Химический состав шлама, оставшегося после обработки серной кислотой, представлен в табл. 2 и его рентгеновская спектроскопия на рис. 1. Гидрометаллургическая обработка шлака после обжига первичной щелочью натрия. Из-за высокого содержания оксида железа шлак сталелитейного производства сначала обжигали NaOH при температуре 200°C , но из-за недостаточного результата следующий эксперимент проводился при 300°C . Цель состояла в том, чтобы извлечь оксид железа из шлама, превратив его в водорастворимый феррат натрия.

Таблица 2

Химический состав шлама, оставшегося после обработки серной кислотой

Определяемые элементы, %									
<i>M</i>	Mn	Mg	Fe	Si	Ca	Al	Co	K	P
%	9,226	0,0102	1,9782	5,441	1,790	0,346	0,0001	0,651	0,00003
<i>M</i>	Se	Br	Zn	Zr	Nb	Mo	Cd	Pb	Sn
%	0,00037	0,00006	0,00834	0,00096	0,00022	0,00034	0,00011	0,00002	0,00019
<i>M</i>	Ti	V	Cr	Ni	Cu	Ga	Ge	As	другие
%	0,02659	0,00002	0,0941	0,00718	0,0462	0,00005	0,00003	0,00017	80,017

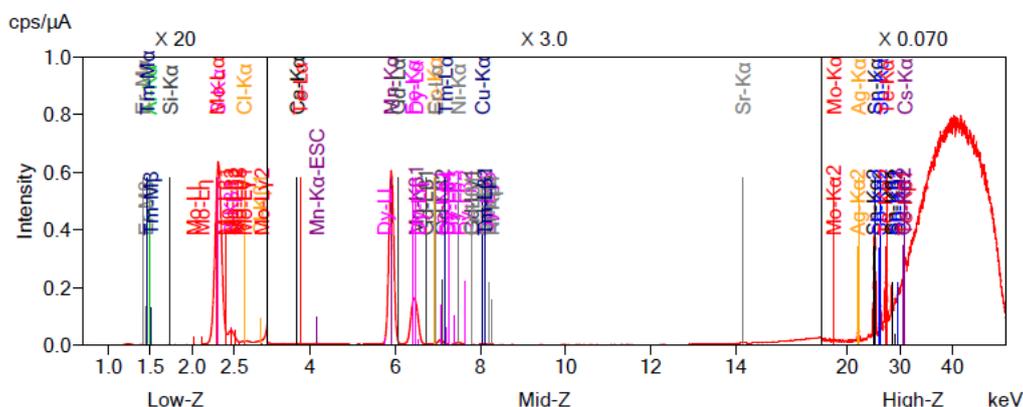


Рис.1. Рентгеновская спектроскопия шлама после обработки серной кислотой

Обожженный образец растворяли в дистиллированной воде, отделяли раствор и шлам. Шлам перерабатывали разбавленной (16%-ной) H_2SO_4 и смешивали с NaOH для нейтрализации. В результате образовался голубой

осадок, который был высушен и проанализирован. Химический состав осадка, полученного в результате реакции полученного раствора выщелачивания со щелочью натрия, приведен в табл. 3.

Таблица 3

Химический состав осадка, полученного в результате реакции раствора выщелачивания со щелочью натрия

Определяемые элементы, %									
<i>M</i>	Mn	Mg	Fe	Si	Ca	Al	Co	K	P
%	34	0,28	1,09	4,172	0,21	2,27	0,0005	0,656	11,83
<i>M</i>	Rb	Br	Zn	Zr	Sb	Mo	Dy	Pb	Sn
%	0,0012	0,00008	0,0255	0,0016	0,0032	0,356	0,0362	0,00003	0,0384
<i>M</i>	Te	Sc	Cr	Ni	Os	Yb	Ge	As	W
%	0,0175	0,0556	0,0325	0,0352	0,002	0,0405	0,0002	0,00018	0,0805

Согласно анализу, осадок, выделенный из шлака, обожженного при 300°C, содержит более 34% марганца и всего ~1% железа, что позволило добиться селективного выделения. Этот метод оказался более эффективным, чем обработка без обжига.

При этом часть марганца перешла в раствор, что связано с образованием им водорастворимых соединений. Учитывая эту ситуацию, существуют направления совершенствования метода. Влияние температуры обжига на выделение Mn показано на рис. 2.

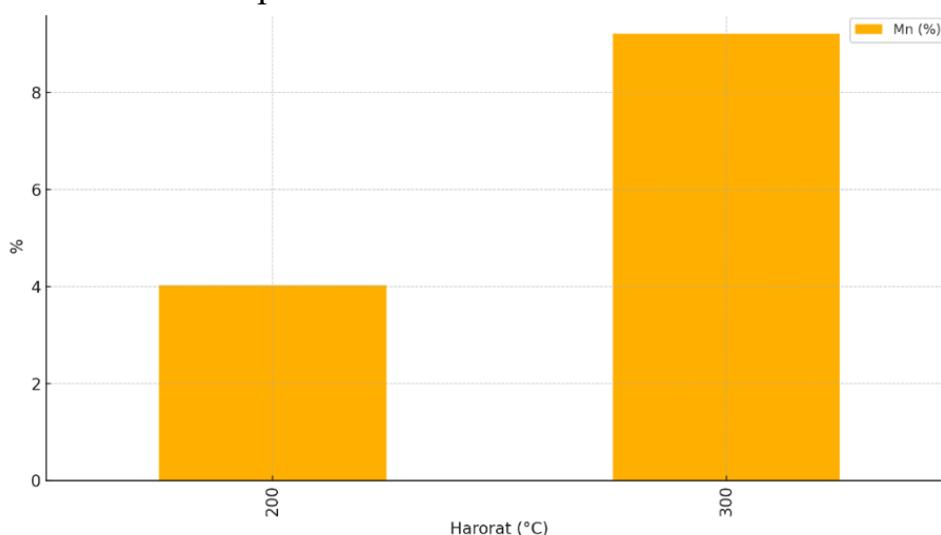


Рис. 2. Влияние температуры обжига на выделение Mn

Разработка технологии выщелачивания для извлечения Mn в присутствии серной кислоты. При одностадийном выщелачивании в серной кислоте 40-55% марганца переходит в раствор, остальная часть сохраняется в шламе. Поэтому был проведен двухстадийный опыт растворения 100 г образца шлака в 13%-ном растворе H₂SO₄. На каждом этапе смешивали в течение 3 часов со скоростью 350-400 об/мин, затем растворы объединяли. Нежелательные соединения металлов в растворе поднимали до уровня pH 6 (с помощью NH₄OH) для осаждения. В этом случае было обнаружено, что осадок содержит относительно мало марганца, и большая его часть все еще сохраняется в растворе.

Таблица 4

**Химический состав марганцевого осадка, выделенного в процессе выщелачивания
(15% H₂SO₄, pH=6)**

Определяемые элементы, %									
<i>M</i>	Mn	Mg	Fe	Si	Ca	Al	Co	K	P
%	28,7	20,8	5,33	25,7	7,6	0,477	2,65	1,204	0,201
<i>M</i>	Se	Br	Zn	Zr	Nb	Mo	Cd	Pb	Sn
%	0,0798	0,0245	0,241	0,0477	0,0356	0,0915	1,55	0,0256	0,0356
<i>M</i>	Ti	V	Cr	Ni	Cu	Ga	Ge	As	другие
%	0,023	0,0059	0,0055	0,253	0,0356	0,0023	0,0124	0,345	4,524

Когда раствор был доведен до pH=9, большая часть марганца выпала в осадок, эта стадия была признана оптимальной. При растворении 100 г шлага 10% H₂SO₄ в два этапа и доведении pH результирующего раствора до 6, содержание марганца в образовавшемся осадке оказалось низким. Однако при pH=9 содержание марганца в осадке было значительным (33,3%). Аналогичным образом проводили двухстадийное растворение 8%-ным раствором H₂SO₄. В составе осадка, образованного при pH=6, было мало марганца, но в результате поэтапного осаждения в интервале pH=9-12 содержание марганца достигло 65,7% (pH=9) и 79,6% (pH=12). Химический состав осадка приведен в таб. 5.

Таблица 5

**Химический состав марганцевого осадка, выделенного в процессе выщелачивания
(8% H₂SO₄, pH=12)**

Определяемые элементы, %									
<i>M</i>	Mn	S	Fe	Al	Mo	Si	Ac	Ca	W
%	79,6	12	6,16	0,643	0,399	0,221	0,202	0,171	0,092
<i>M</i>	Tm	Sn	Cl	Yb	Ni	Br	Zn	P	Te
%	0,0484	0,0336	0,0194	0,0297	0,0229	0,0025	0,0179	0,009	0,0149
<i>M</i>	Co	Sc	Pb	Sb	Hg	Se	Cu	Os	другие
%	0,0886	0,0982	0,0072	0,003	0,0107	0,0005	0,0058	0,008	0

Высокий уровень осаждения соединений марганца был достигнут путем двухстадийного выщелачивания в серной кислоте и регулировки уровня pH в диапазоне 9-12. Особенно высокие результаты было получено при селективном извлечении марганца в условиях 8% H₂SO₄ и pH=12.

Осаждение соединений марганца серной кислотой и гидроксидом натрия. Шлак растворяли в две стадии 15% H₂SO₄, и при повышении pH до 6 с помощью NaOH в раствор осаждалось небольшое количество Mn.

Химический состав осадка представлен в табл. 6.

Таблица 6

Химический состав выделенного марганцевого осадка (15% H₂SO₄, pH=9)

Определяемые элементы, %									
<i>M</i>	Mn	Fe	S	Al	Ca	Mo	Si	Sc	Co
%	71,5	19,2	6,32	0,522	0,425	0,39	0,185	0,0652	0,133
<i>M</i>	W	As	P	Sn	Yb	Zn	Rh	Tm	Ni
%	0,0899	0,03	0,0092	0,0422	0,0333	0,0159	0,002	0,0599	0,0422
<i>M</i>	Te	Ag	Sb	Hg	Au	Os	Sr	Br	другие
%	0,0255	0,0053	0,005	0,0081	0,0043	0,0054	0,0039	0,0021	0,8756

Таблица 6 Наибольшее содержание марганца 71,5%, что доказывает эффективность оптимального pH=9.

При достижении pH=9 основной марганец выпал в осадок. После двухстадийного щелачивания 10%-ным раствором H₂SO₄ при pH=6 содержание Mn было низким, а при pH=9 основная часть осаждалась. После проведения растворения с 8%-ной H₂SO₄ при pH=6 Mn уменьшается, но с помощью поэтапно добавляемого NaOH в диапазоне pH=9-12 содержание Mn в осадке достигает максимума. Химический состав выделенного марганцевого осадка приведен в табл. 7.

Таблица 7

Химический состав марганцевого осадка, выделенного в процессе выщелачивания (8% H₂SO₄, pH=9)

Определяемые элементы, %									
<i>M</i>	Mn	Fe	S	Al	Mo	Si	Ca	Co	Tm
%	70,7	11,5	15,6	0,749	0,456	0,207	0,215	0,123	0,0645
<i>M</i>	W	Cl	P	Sn	Yb	Br	Ra	Tm	Ni
%	0,144	0,0284	0,0213	0,0419	0,0263	0,0013	0,0879	0,0856	0,0256
<i>M</i>	Te	Ag	Sb	Hg	Au	Rh	V	Mo	другие
%	0,0188	0,0047	0,0037	0,0063	0,0047	0,0019	0,0411	0,421	0,4253

В таблица 7 эффективные интервалы pH сохраняются даже при уменьшении концентрации осадка и кислоты с вторым самым высоким показателем марганца (70,7%).

Технология извлечения соединений марганца из раствора осаждением щелочью натрия. В данной технологии после двухстадийного выщелачивания в присутствии 8%, 10% и 15% серной кислоты из раствора выделяли гидроксид марганца. Когда уровень pH раствора был доведен до 6, в образовавшемся осадке содержание марганца было низким, и основная часть оставалась в растворе. В диапазоне pH=9-12 основная часть марганца выпадает в осадок.

Оптимальный результат наблюдался при работе с 10% и 15% H₂SO₄ при pH=9 - химический состав осадка составил ~71% Mn. Химический состав выделенного осадка приведен в таблице 8.

Таблица 8

Химический состав марганцевого осадка, выделенного в процессе выщелачивания (15% H₂SO₄, pH=9)

Определяемые элементы, %									
<i>M</i>	Mn	Fe	S	Al	Ca	Mo	Si	Sc	Co
%	71,5	19,2	6,32	0,522	0,425	0,39	0,185	0,0652	0,133
<i>M</i>	W	As	P	Sn	Yb	Zn	Rh	Tm	Ni
%	0,0899	0,03	0,0092	0,0422	0,0333	0,0159	0,002	0,0599	0,0422
<i>M</i>	Te	Ag	Sb	Hg	Au	Os	Sr	Br	другие
%	0,0255	0,0053	0,005	0,0081	0,0043	0,0054	0,0039	0,0021	0,8756

В 8%-ном растворе H₂SO₄ при повышении pH до 12 выпадает Mg и частично Mn. Изменение Mn по pH показано на рис. 3.

Влияние pH на осаждение марганца в растворах, выделенных в процессе выщелачивания, показано на рисунке 3.

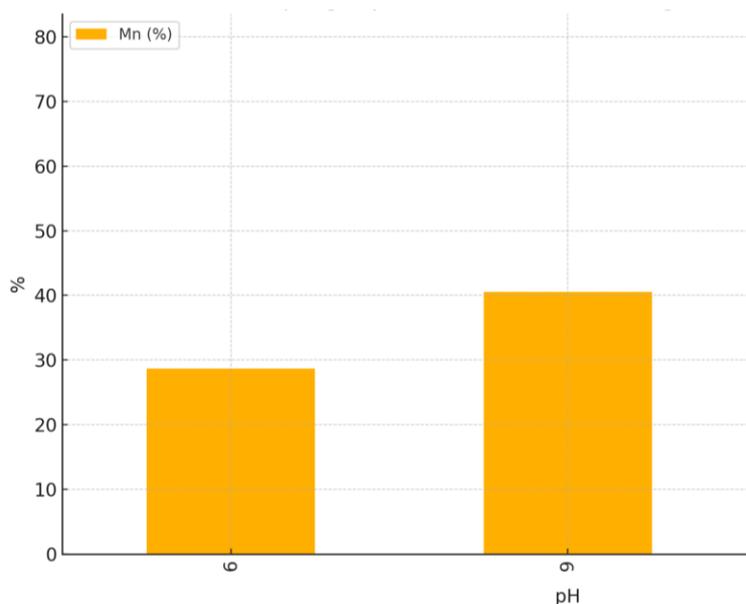


Рис. 3. Изменение содержания Mn в осадке в зависимости от pH

Разработка технологии извлечения соединений марганца из раствора после двухстадийного выщелачивания путем осаждения карбонатом аммония. Процессы растворения марганца путем двухстадийного растворения 100 г марганцевого шлака проводили в 15%, 10% и 8% растворах серной кислоты (H_2SO_4). На каждом этапе 300 мл раствора кислоты перемешивали в течение 3 часов со скоростью 350-400 об/мин. Полученные растворы после фильтрации объединяли и проводили процесс селективного осаждения.

Осаждение соединений марганца из раствора карбонатом аммония (13% H_2SO_4). Когда уровень pH раствора поднялся до 6, больше железа и смешанных металлов выпало в осадок, в то время как марганец остался в растворе. При повышении уровня pH до 9 основная часть марганца выпадает в осадок. В химическом составе осадка содержание марганца достигло 75,4%. Химический состав осадка приведен в табл. 9.

Осаждение в 10%-ном растворе H_2SO_4 . То же самое повторили в 10%-ном растворе кислоты. При pH = 6 содержание марганца было низким, и большая часть оставалась в растворе.

Таблица 9

Химический состав марганцевого осадка, выделенного в процессе выщелачивания (15% H_2SO_4 , pH=9)

Определяемые элементы, %									
M	Mn	Fe	S	Al	Ca	Mo	Si	Sc	Co
%	75,400	14,9	7,51	0,632	0,422	0,42	0,192	0,0543	0,129
M	W	As	P	Sn	Yb	Zn	Rh	Tm	Ni
%	0,0909	0,024	0,0084	0,0367	0,0301	0,0135	0,0019	0,0622	0,0219
M	Te	Ag	Sb	Hg	Au	Os	Sr	Br	другие
%	0,0157	0,0049	0,004	0,0073	0,0039	0,0054	0,0045	0,0019	0,4235

При достижении pH = 9 марганец выпадает в осадок до 79,4%. Химический состав марганцевого осадка, выделенного в процессе выщелачивания, приведен в табл. 10.

**Химический состав марганцевого осадка, выделенного в процессе выщелачивания
(10% H₂SO₄, pH=9)**

Определяемые элементы, %									
<i>M</i>	Mn	Fe	S	Al	Ca	Mo	Si	Sc	Co
%	79,4	11,9	5,51	0,756	0,596	0,456	0,256	0,0652	0,135
<i>M</i>	W	As	P	Sn	Yb	Zn	Rh	Tm	Ni
%	0,0856	0,019	0,0079	0,0359	0,0356	0,0155	0,0021	0,0588	0,019
<i>M</i>	Te	Ag	Sb	Hg	Au	Os	Sr	Br	другие
%	0,0144	0,0003	0,0043	0,0053	0,00024	0,0024	0,0035	0,0025	0,6134

В 8%-ном растворе кислоты также проводили двухстадийное растворение и селективное осаждение. Было установлено, что при pH = 6 содержание марганца в осадке было низким, а основная его часть оставалась в растворе. При достижении pH = 9 содержание марганца в осадке составило 74,4%. В результате экспериментов было определено, что оптимальным значением для осаждения марганца из раствора является уровень pH = 9, при котором марганец выделяется в количестве 74-79%.

На основе всех проведенных экспериментов на рисунке 4 представлен график изменения содержания MnO и Fe₂O₃ в шлаке.

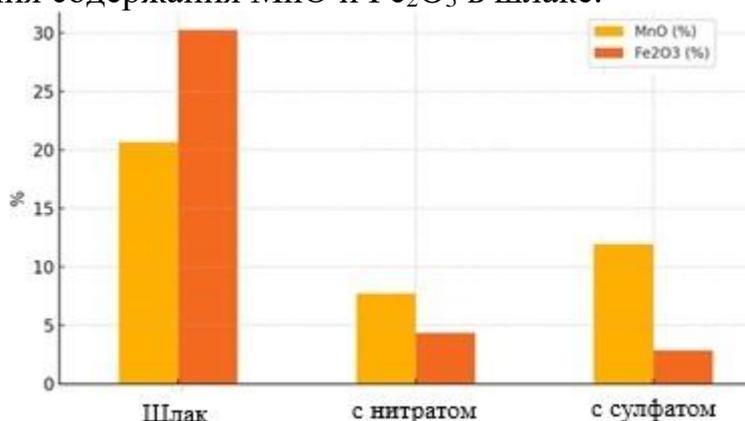


Рис. 4. Изменение содержания MnO и Fe₂O₃ в шлаке

Извлечение марганца из раствора с помощью различных реагентов Для извлечения марганца из сернокислых растворов, образующихся после выщелачивания, сначала очищали раствор путем осаждения вредных элементов (Fe, Al, Mg, Ca, Cr).

Диапазон pH осаждения гидроксидов металлов представлен на рис. 4. При pH = 4-5 выпадает осадок Al³⁺, Fe³⁺, Cr³⁺, при pH = 7-8 выпадает осадок Fe³⁺, а марганец активно осаждается при pH = 8,5-9,5.

Однако вероятность совместного осаждения с магнием выше, поскольку интервал их осаждения близок. Поэтому при получении чистого гидроксида марганца рекомендуется работать в диапазоне pH = 8,5-9,0.

Химический состав раствора серной кислоты, содержащего марганец, приведен в табл. 11.

Химический состав раствора серной кислоты, содержащего марганец.

Марганецсодержащие растворы №	Количество элементов, г×дм ⁻³						
	Mn	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Cr
1	12,86	0,377	0,124	2,73	0,52	0,959	0,0081
2	12,1	0,39	0,04	2,64	0,503	0,119	0,0055
3	13,36	8,54	-	2,53	-	-	-
4	12,73	2,84	-	2,45	-	-	-
5	37,1	37,67	0,89	7,6	0,46	1,16	0,043
6	8,81	0,17	0,0095	0,0084	1,97	0,41	0,12
7	10,17	1,268	24,25	0,0074	1,98	0,353	0,19

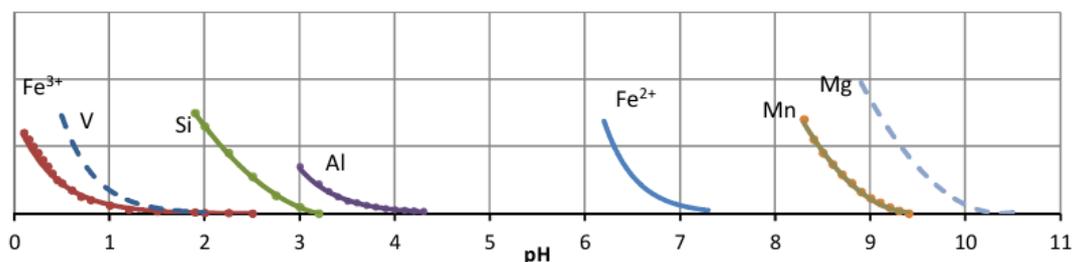


Рисунок 5. Зависимость процесса осаждения гидроксидов металлов от pH раствора.

В качестве реагентов использовали NH₄OH, NaOH и (NH₄)₂CO₃. Перед осаждением растворы перемешивали в течение 1 часа, затем фильтровали и осадки сушили при 120°C. После процесса выщелачивания для извлечения марганца из полученного раствора использовали вышеуказанные гидроксиды и соли. Процесс осуществлялся селективным осаждением. Исследовательские эксперименты по очистке растворов от вредных примесей приведены в табл. 12.

Исследовательские эксперименты по очистке растворов от вредных примесей

Опыт №	Раствор H ₂ SO ₄		Осадительный реагент	Раствор %	Осадок		
	V	pH			Весовая доля %		V
					Mn	Fe	
62-75	300	pH=-0,325	NH ₄ OH	13	Осадок №1		
					40,55	2,45	65,4
		pH=-0,205			Осадок №2		
			10	33,3	41,8	57,2	
		pH=0,025	8	Осадок №3			
				65,7	20,5	76,4	
75-85	300	pH=-0,325	(NH ₄) ₂ CO ₃	13	Осадок №4		
					75,4	14,9	92,3
		pH=-0,205			Осадок №5		
			10	79,4	11,9	95,6	
		pH=0,025	8	Осадок №6			
				74,4	16,9	91,4	
85-91	300	pH=-0,325	NaOH	13	Осадок №7		
					71,5	19,2	85,4
		pH=-0,205			Осадок №8		
			10	70,5	21,2	83,4	
		pH=0,025	8	Осадок №9			
				70,7	11,5	83,2	

Согласно данным табл. 12, выделение Mn с NH_4OH составляет: до 76,4%, с $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$: до 95,6%, с NaOH : до 85,4%.

В четвертой главе диссертации, «**Разработка технологии переработки марганцевых шлаков**» посвящённой разработке технологии переработки марганецсодержащих шлаков, на основе проведённых исследований была разработана технологическая схема и режимы операций переработки марганецсодержащих шлаков (рисунок 5), а также выполнен расчёт её экономической эффективности.

Шлак подвергается трехступенчатому выщелачиванию серной кислотой ($\text{T}:\text{Ж} = 1:3$, $\text{T} = 20\text{-}25\text{ }^\circ\text{C}$, $\tau = 1$ час). Образующиеся растворы содержат марганец (~34 г/л) и такие примеси, как Fe, Si, Mg, Al, Ca при $\text{pH} < 2$. Раствор доводится до $\text{pH} = 4\text{-}5$, реагирует с кеком и очищается от вредных примесей. Затем добавляется $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ и осаждается MnCO_3 . Оксиды марганца получают путем промывки, сушки и обжига.

Остаточный раствор используется в замкнутой циркуляционной системе. При накоплении магния и достижении значения $\text{pH} > 10,5$ он осаждается в виде $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Из избыточного раствора извлекается осадок сульфата аммония ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), который может быть использован как азотное удобрение. Баланс раствора и осадка определяется в ходе опытно-промышленных испытаний. Общая степень извлечения марганца составляет около 80%.

Разработана технология извлечения оксида марганца в виде порошка из шлаков, образующихся в процессе производства стали, и обоснована её технико-экономическая эффективность. Предложенная двухступенчатая технология селективного выщелачивания с использованием кислотных растворов позволяет извлекать 191 кг марганца из 1000 кг шлака, что обеспечивает степень извлечения 92,56%. Полученный продукт — порошок оксида марганца — содержит более 80% Mn и может быть использован в металлургической промышленности как импортозамещающий материал.

На основании материальных балансов, полученных в условиях опытно-промышленной установки на АО «Алмалыкский ГМК», были произведены расчёты по внедрению технологии на производстве. Полная себестоимость переработки шлака составляет 343 625 сумов за 1 кг, при этом рыночная цена продукции достигает 902 000 сумов за кг. Таким образом, прибыль от каждого килограмма продукта составляет 558 375 сумов. Согласно расчётам, вложенные инвестиции окупаются менее чем за один год.

В результате внедрения новой технологии объём импорта марганца снижается на 80%, а годовая прибыль от производства продукта, заменяющего ферромарганец, составляет 558 миллионов сумов. Данный подход способствует сокращению отходов в металлургической отрасли, повышению экономической эффективности и рациональному использованию ресурсов.

Для проведения опытно-промышленных испытаний предложена схема оборудования производительностью 250 кг/сутки, выполненная из нержавеющей стали, титана либо с резиновым/эмалевым покрытием (рис. 6).

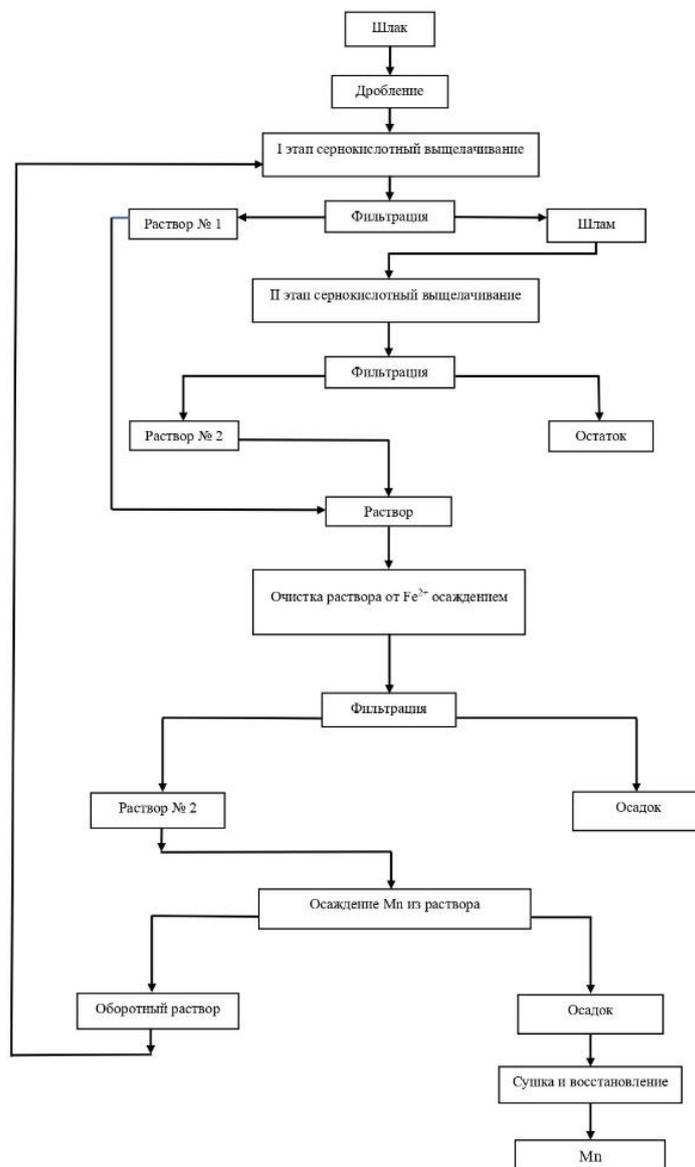


Рисунок 6. Основная технологическая схема переработки марганцевых шлаков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате всестороннего анализа минералогического и химического состава марганецсодержащих шлаков, образующихся в процессе сталеплавильного производства, установлена их технологическая пригодность к дальнейшей переработке. Полученные данные легли в основу разработки научно обоснованных технологических решений, направленных на эффективное извлечение ценных компонентов из данных вторичных сырьевых ресурсов.

2. Определены наиболее эффективные условия гидрометаллургического процесса извлечения марганца из марганцевых шлаков. В частности, использование 10-15% раствора серной кислоты, поддержание оптимального

уровня pH, правильный выбор температуры и соотношения жидкой/твердой фаз были определены как важные факторы, повышающие эффективность процесса селективного выщелачивания. В результате проведенных экспериментов было отмечено, что степень извлечения марганца в раствор на основе этих параметров достигла максимума 82%. Это показывает, что правильный подбор концентрации кислоты и условий выщелачивания значительно увеличивает возможность селективного разделения.

3. Разработана технология выделения оксидных соединений из раствора, образующегося в результате двухстадийного выщелачивания марганцевых шлаков, путем осаждения содержащихся в нем Mn и Fe в виде селективных гидроксидов при двух различных значениях pH, что способствует достижению селективного разделения и применению продукта в промышленных масштабах.

4. Разработана технологическая схема получения порошкообразного металлического марганца с массовой долей основного вещества 90–95%, основанная на пирометаллургическом восстановлении оксидов марганца, предварительно извлечённых из шлаков гидрометаллургическим методом. В качестве восстановителя использован кокс, а восстановление осуществлялось при высокотемпературных режимах. Полученный продукт может эффективно применяться в металлургической промышленности для повышения качества легированных сплавов и улучшения эксплуатационных характеристик готовой продукции.

5. На основе исследований предложена экологически чистая и экономически эффективная технология выщелачивания сталеплавильных шлаков с помощью разбавленных кислот и извлечения компонентов из состава раствора с помощью низкоконцентрированных NaOH и $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, а также повторного использования оборотного раствора в процессе, что обеспечивает снижение производственных отходов и рациональное использование ресурсов.

6. На Центральном ремонтно-механическом заводе АО «Алмалыкский ГМК» внедрена в практику технология гидрометаллургической переработки марганецсодержащих шлаков в цехе ЦРМЗ, на основе которой успешно получены оксид марганца с чистотой 97,9% и оксид железа с чистотой 98,1%. Это позволяет использовать полученный оксид марганца в качестве импортозамещающего продукта.

7. Разработанная гидрометаллургическая технология адаптирована к местным условиям и апробирована в лабораторных экспериментах. На основе оптимальных параметров степень извлечения марганца в раствор достигает 90%, а чистота осадка - 75-87%. Это доказало пригодность технологии для практического внедрения и ее высокую эффективность.

8. Разработанная двухстадийная гидрометаллургическая технология позволяет извлекать высокочистые оксидные соединения из марганцевых

шлаков и получать чистый порошок металлического марганца путем их пиromеталлургической переработки, что служит высокоэффективным, экологически безопасным и инновационным решением, которое может быть внедрено в промышленность при переработке отходов сталеплавильного производства.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.22/30.12.2019.T.98.01 AT THE ALMALYK BRANCH OF THE
NATIONAL RESEARCH TECHNOLOGICAL UNIVERSITY «MISIS»**

**ALMALYK BRANCH OF TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY
NAMED AFTER ISLAM KARIMOV**

MIRZAVALINEV DOSTONBEK BAKHODIR UGLI

**DEVELOPMENT OF MANGANESE EXTRACTION TECHNOLOGY
FROM SLAGS FORMED DURING THE STEEL MELTING PROCESS.**

**05.02.01 - Material science in mechanical engineering. Foundry production. Thermal and
pressure treatment of metals. Metallurgy of ferrous, non-ferrous and rare metals (technical
sciences)**

**DISSERTATION ABSTRACT
for the Doctor of Philosophy (PhD) of Technical Sciences**

Almalyk - 2025

The topic of the dissertation of the Doctor of Philosophy (PhD) is registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under №B2025.1.PhD/T5328

The dissertation has been carried out at the Almalyk Branch of the National Research Technological University “MISIS”.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume) on the website of the Scientific Council (www.misis.uz) and on the information and educational portal “ZiyoNet” (www.ziynet.uz).

Scientific supervisor:	Parmonov Sarvar Toshpo‘latovich doctor of technical sciences, associate professor
Official opponents:	Berdiyarov Bakhriddin Tilovkabulovich doctor of technical sciences, associate professor Matkarimov Sokhib Turdaliyevich doctor of technical sciences, professor
Leading organization:	Navoi State University of Mining and Technologies

The dissertation defense will take place on “5” december 2025 at 2:00 pm hours at the meeting of the Scientific Council DSc.22/30.12.2019.T.98.01 at the National University of Science and Technology “MISIS” in Almalyk. Address: 56 Amir Temur Street, Almalyk city, 110101. Tel.: (+998 70) 614-22-82; e-mail: info@misis.uz.

The dissertation has been registered at the Information Resource Center of the Almalyk Branch of the National Research Technological University “MISIS” (registrated under № 25-40-Д). Address: 110101, Almalyk, Amir Temur St. 56. Phone: (+998 70) 614-22-82.

The abstract of the dissertation is distributed on “20” november 2025 y.
(Protocol at the register № 31 dated “20” november 2025 y.).

F.Y. Umarov
Chairman of the Scientific Council for
Awarding Academic Degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

G.S. Nutfulloev
Scientific Secretary of the Scientific Council for
Awarding Academic Degrees,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Sh.Sh. Zairov
Acting Chairman of the Scientific Seminar at the Scientific
Council for Awarding Academic Degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of the dissertation of Doctor of Philosophy (PhD))

The aim of the research is to develop an effective technology for extracting manganese from slag waste generated during steel smelting.

The object of the research is manganese-containing slag formed during the steel smelting process at the foundry of the Central Repair and Mechanical Plant of JSC “Almalyk Mining and Metallurgical Combine”.

The scientific novelty of the research is as follows:

a new two-stage hydrometallurgical selective leaching technology has been developed for dissolving manganese and iron oxides contained in steelmaking slags at 20–25 °C in the presence of 10–15% H₂SO₄;

a technology has been designed for obtaining hydroxide and carbonate precipitates of manganese by controlled selective precipitation of manganese compounds from aqueous solutions using NaOH and (NH₄)₂CO₃ within the pH range of 6–9, followed by calcination of the resulting powder materials.

a technology for producing high-purity metallic manganese has been developed by reducing the manganese oxide compounds obtained via hydrometallurgical processing with carbon at 1300 °C for 90 minutes.

a sequential technological scheme has been developed that enables the extraction of up to 97.9% manganese oxides and, at subsequent stages, up to 98.1% iron oxides from steelmaking waste through combined hydro- and pyrometallurgical processes, producing raw materials suitable for the manufacture of ferromanganese alloys.

Implementation of the research results. Based on the data obtained during the research, devoted to the development of technological solutions for extracting manganese from steelmaking slags, the following was achieved:

the new technological principles for processing steelmaking slags have been implemented in practice at the “Central Repair and Mechanical Plant” of JSC “Almalyk MMC” (according to the information letter of JSC “Almalyk MMC” dated 25 December 2024, № SL-1466). As a result, an environmentally clean and economically efficient method for slag processing has been established.

the hydrometallurgical technology for processing manganese-containing slags using 10–15% sulfuric acid has been introduced at the “Central Repair and Mechanical Plant” of JSC “Almalyk MMC” (information letter № SL-1466, 25 December 2024). This implementation enabled the production of manganese and iron oxide compounds in powder form.

the pyrometallurgical processing technology for manganese oxide compounds obtained via the hydrometallurgical method has also been implemented at the “Central Repair and Mechanical Plant” of JSC “Almalyk MMC” (information letter № SL-1466, 25 December 2024). As a result, high-purity metallic manganese was obtained in powder form.

the technology for producing raw materials for ferromanganese alloys from steelmaking slags has been put into practice at the “Central Repair and Mechanical Plant” of JSC “Almalyk MMC” (information letter № SL-1466, 25 December 2024).

This implementation made it possible to obtain 97.9% manganese oxide and 98.1% iron oxide.

The structure and content of the thesis. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The volume of the dissertation is 127 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo‘lim (I част; part I)

1. Mirzavaliyev D.B., Ubaydullayev M.M., Sattorqulov X., Nishonov B.B. Shlaklar tarkibidan marganesni ajratib olish usullari va uning jahon iqtisodiyatida tutgan o‘rni // Scientific and Technical Journal Namangan Institute of Engineering and Technology. – Namangan, 2024. –Т.9. – №. 1. – В. 175-180. (05.00.00; ОАК ning 2021-yil 31-martdagi 295/6 -son qarori).

2. Mirzavaliyev D.B., Ubaydullayev M.M. Po‘lat eritish jarayoni chiqindilardan marganes olish texnologiyasini ishlab chiqish // Actual problems of modern science, education and training. – Xorazm, 2024. –Т.9. – №. 1. – В. 181-186. (05.00.00; №26).

3. Mirzavaliyev D.B., Parmonov S.T. Extraction of manganese from steel production slag // Scientific and Technical Journal Namangan Institute of Engineering and Technology. ISSN 2181-9750. – Namangan, 2024. –Т.9. – №. 1. – PP. 18-23. (05.00.00; ОАК ning 2021-yil 31-martdagi 295/6 -son qarori).

4. Mirzavaliyev D.B., Parmonov S.T., Development of a technology for obtaining manganese from waste //Scientific and Technical Journal Namangan Institute of Engineering and Technology. ISSN 2181-9750. – Namangan, 2024. – Т.9. – №. 1. – PP. 12-13. (05.00.00; ОАК ning 2021-yil 31-martdagi 295/6 -son qarori).

5. Мирзавалиев Д.Б., Пармонов С.Т., Немененек Б.М. Разработка технологии получения марганца из отходов // Литье и металлургия. ISSN 1683-6065. – Минск, 2025. – №. 1. – С. 54-57. (05.00.00; №14. Researchbib. Impakt-faktor 10.21112)

6. Mirzavaliyev D.B., Parmonov S.T., Sattorqulov X.D. Technology based on sodium alkaline roasting and hydrometallurgical methods of manganese extraction from slags of the steeling industry // Web of Scientists and Scholars: Journal of Multidisciplinary Research. ISSN (E): 2938-3811. – Bhavnagar, 2025. – Vol. 3, – Issue 5, – PP. 317-323. (05.00.00; №14. Researchbib. Impakt-faktor 10.25).

7. Патент на полезная модель FAP 2710. Способ извлечения марганца и железа из сталеплавильного шлака // Шарипов К.А., Санакулов К., Самадов А.У., Каримов М.М., Пармонов С.Т., Мирзавалийев Д.Б. // Зарегистрирован в государственном реестре изобретений Республики Узбекистан 24.04.2025 г. – С. 1-9.

II bo‘lim (II част; part II)

8. Мирзавалиев Д.Б., Махмудова Ф.М. Извлечение марганца из сталеплавильных шлаков: современные технологии и перспективы // «Перспективы, инновационные решения и актуальный проблемы в химической промышленности» Международная научно-практическая конференция. Алмалык, 1-2 ноября, 2024 г. – С .321-322.

9. Мирзавалиев Д.Б., Пармонов С.Т. Исследование процесса переработки сталеплавильных шлаков с целью извлечения соединения марганца // «Литьё и металлургия 2024» VII Международной научно–практической интернет конференции студентов и магистрантов. Минск, 27–28 ноября, 2024 г. – С. 37-39.

10. Мирзавалиев Д.Б., Сатторкулов Х.Д. Анализ процесса переработки сталеплавильных шлаков для извлечения соединений марганца // «Актуальные проблемы и решения в области переработки руды и металлургии в Узбекистане» Международная научно-практическая конференция. Алмалык, 8 апреля, 2025 г. – С.224-225.

11. Мирзавалиев Д.Б., Пармонов С.Т., Каримов М.М. Научные основы извлечения марганца из шлаков методом гидрометаллургии// «Металлургия сплавов – 2025» Международная научно-техническая конференция. Могилев, 5–6 июня, 2025 г. – С.71-73.

12. Мирзавалиев Д.Б., Пармонов С.Т. Свойства шлаков, образующихся при переплавке стали, и возможности их переработки // «Металлургия и экология» Республиканская научно-техническая конференция. Бекобод, 26 июня, 2025 г. – С.71-73.

13. Мирзавалиев Д.Б., Пармонов С.Т. Разработка и оптимизация технологии селективного выщелачивания марганца из шлаков с использованием серной кислоты // «Комплексное инновационное развитие региона Зарафшан: достижения, проблемы и перспективы» VI Международная научно-техническая конференция. Навои, 24-25 сентября, 2025 г. – С.297-298.

Avtoreferat “O‘zbekiston konchilik xabarnomasi” jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar o‘zaro muvofiqlashtirildi.



Bosishga ruxsat etildi: 18.11.2025-yil.
Bichimi 60x84^{1/16}, “Times New Roman”
garniturada raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 2.9. Adadi: 100. Buyurtma: № 157.
Tel (99) 817 44 54.
Guvohnoma reyestr № 219951
“PUBLISHING HIGH FUTURE” OK nashriyotida bosildi.
Toshkent sh., Uchtepa tumani, Ali qushchi ko‘chasi, 2A-uy.