

Olim ugli	
Ermatorov	– Master at the department of Mine surveying and geodesy, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan.
Zafarjon	
Raxim ugli	
Bahromov	– Master at the department of Mine surveying and geodesy, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan.
Bahodir	
Zokir ugli	

MIS ISHLAB CHIQARISH JARAYONIDA YUZAGA KELADIGAN TEXNOGEN CHIQINDILAR TURLARI HAMDA ULARNING KIMYOVIY VA TAHLILIY TARKIBI

S.B.Mirzajanova, D.A.Mansurova, J.I.Boymirzayeva, N.I.Yarqulova, M.K.Navro'zova
Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Doi: 10.5281/zenodo.20280051

ANNOTATSIYA Ushbu maqolada mis ishlab chiqarish jarayonida yuzaga keladigan texnogen chiqindilarning turlari, ularning kimyoviy-tahliliy tarkibi va ushbu chiqindilarni kompleks qayta ishlash imkoniyatlari tadqiq etilgan bo'lib, asosiy maqsad mineral xomashyo va polimetall rudalardan foydali komponentlarni maksimal darajada ajratib olish hamda ishlab chiqarish samaradorligini oshirishdan iborat. Ish davomida Olmaliq kon-metallurgiya mis boyitish fabrikasi va mis eritish zavodi faoliyati natijasida hosil bo'luvchi qattiq, suyuq va gazsimon chiqindilarning mineralogik xususiyatlari batafsil tahlil qilingan. Boyitish jarayonidagi mis boyitish fabrikasi chiqindilari, eritish pechlaridan ajralib chiqadigan shlaklar va gaz va changlarning tarkibi tahlil qilinib, chiqindilar tarkibida nafaqat mis (0,11% dan 5,04% gacha), balki oltin, kumush, qo'rg'oshin va rux kabi qimmatbaho metallar mavjudligi aniqlangan. Maqolada reniy va molibden ishlab chiqarishda yuzaga keladigan texnologik chiqindilarni va sulfat kislota ishlab chiqarish bo'limlaridan hosil bo'ladigan katta hajmdagi (soatiga 100 m³ gacha) oqova suvlarning qayta ishlashning iqtisodiy va ekologik ahamiyati asoslab berilgan. Ilmiy ishning amaliy ahamiyati shundaki, taklif etilayotgan qayta ishlash usullari mahsulot tannarxini pasaytirishga, xomashyodan kompleks foydalanishga va sanoat hududlaridagi ekologik muammolarni bartaraf etishga xizmat qiladi.

Maqolada Olmaliq kon - metallurgiya kombinatida so'nggi yillarda flotatsiya, boyitish jarayonlari va metallurgik ishlab chiqarish natijasida yuzaga kelgan chiqindilar muammolari ko'rib chiqilgan. Korxona faoliyati natijasida katta miqdorda sanoat chiqindilari to'plangan: flotatsiya jarayonlaridan hosil bo'lgan chiqindilar miqdori taxminan 955 – 960 mln.tonnani tashkil qilsa, mis eritish zavodlaridan hosil bo'lgan chiqindilar 11 – 13 mln. tonna atrofida baholanmoqda. Flotatsion usullar yordamida boyitishda asosan chiqindilar tarkibida Cu, Zn, Mo, Fe, Au, Ag kabi elementlar bo'lib, oltingugurt miqdori yuqori bo'lgan FeS₂, FeS, Fe₇S₈ kabi minerallarning ishtiroki qimmatbaho elementlarning yo'qolishiga olib keladi. Asosiy muammolardan biri S 1,38–10,5 % (granula o'lchamiga bog'liq), SiO₂ 65–69 % larning miqdoriga bog'liq. Chiqindi tarkibidagi qimmatbaho elementlardan mis va temir tarkibli minerallarning miqdori tahlil qilinganda Fe – 42 % ni, Cu – 0,891 % ni tashkil qilgan. Yanchilgan chiqindilarning yuzalari ochilishi hisobiga magnitga tortilish miqdori 0,8 % ga ortganligini ko'rsatadi. Olib borilgan tadqiqotlardan chiqindi tarkibidagi kvartsning miqdori vyustitili birikmalarning miqdoriga salbiy ta'sir ko'rsatishi va uni bartaraf etishda esa ohakning kinetik ta'siri tahlil qilingan. Bunda yuklangan ohakning optimal miqdori 1 : 0,5 nisbatda qo'shilishi, kremniyning miqdori oshishiga va CaO-SiO₂ birikishiga, bunda haroratning optimalligi va vaqt muhim vazifani belgilaydi. 1000°C jarayonni to'g'ri borishi va kislorodning miqdori to'liq ta'sirlashishi uchun agregat ichida aralashtirish ta'minlanishi zarur. Chiqindilarni qayta ishlashning asosiy maqsadi – atrof-muhit va tabiatni texnogen chiqindilardan tozalash dolzarb muammolardan biri hisoblanib, zamonaviy texnologiyalar yordamida yoki kam xarajatli texnologiyalar asosida ularni kamaytirish juda zarurdir.

KALIT SO'ZLAR

oraliq mahsulotlar, texnogen chiqindilar, changlarni qayta ishlash, pirometallurgik jarayonlar, kimyoviy boyitish, gidrometallurgiya.

KIRISH

So'nggi yillarda tog'-kon va metallurgiya sanoati jadal sur'atlar bilan rivojlanib bormoqda. O'zbekiston iqtisodiyotiga salmoqli ta'sir ko'rsatuvchi "Olmaliq KMK" AJ yiliga 37 million tonnadan ortiq rudani texnologik qayta ishlash natijasida qariyb 150 ming tonna yuqori sifatli katod misini ishlab chiqaradi va asosiy qismini eksportga yo'naltiradi.

Metallurgik ishlab chiqarish jarayonlari og'ir sanoat tarmog'iga mansub bo'lib, o'ta murakkab texnologik sxemalar hamda yuqori energiya sig'imi bilan tavsiflanadi. Ushbu ko'p bosqichli tizimlarda qattiq, suyuq va gazsimon ko'rinishdagi ulkan hajmdagi texnogen chiqindilar hosil bo'lishi kuzatiladi. Bu esa, o'z navbatida, hududiy tabiiy geologik muhitni muhofaza qilish hamda mavjud chiqindilarni kompleks qayta ishlash (utilizatsiya qilish) texnologiyalarini takomillashtirishni dolzarb ilmiy-amaliy muammo qilib qo'yadi [1, 2].

"Olmaliq KMK" AJ ishlab chiqarish tizimlarida hosil bo'lgan texnogen chiqindilar maxsus inshootlar va poligonlarda saqlanadi. Ular bir necha yuz gektar maydonlarni egallab, atrof-muhitga, o'simlik dunyosiga va yer osti suvlariga o'zining fizik-kimyoviy salbiy ta'sirini o'tkazib kelmoqda. Bunday

chiqindi saqlash maydonlarini saqlash va zararsizlantirish katta iqtisodiy xarajatlarni talab etadi. Shu sababli, mazkur chiqindilarni ekologik xavf manbai sifatida emas, balki tarkibida qimmatbaho komponentlar mavjud bo'lgan "ikkilamchi xomashyo" sifatida baholash va ularni qayta ishlash texnologiyasini joriy etish tadqiqot ishining asosiy tamoyili hisoblanadi [3, 4].

TADQIQOT ISHINING MAQSADI

Kombinat tarkibidagi Mis boyitish fabrikasi asosan sulfidli rudalarni flotatsiya usulida boyitishga ixtisoslashgan. Texnologik jarayon davomida ruda ikki asosiy mahsulotga – boyitma va boyitish fabrikasi chiqindilariga (хвост) ajratiladi. Boyitma mahsuloti pirometallurgiya bosqichi uchun shixta sifatida eritish pechlariga yo'naltirilsa, boyitish jarayoni chiqindilari maxsus chiqindi saqlash inshootlariga (1 va 2-sonli chiqindixonalar) gidrotransport vositasida yuboriladi.

Quyidagi 1-jadvalda "Olmaliq KMK" AJ mis boyitish fabrikasidan olingan namunalar asosida chiqindi saqlash joylarida to'plangan texnogen resurslarning batafsil kimyoviy tahlili keltirilgan. Ushbu tahlil natijalari chiqindi tarkibidagi metallarni ajratib olishning texnik-iqtisodiy asoslarini yaratishda muhim poydevor bo'lib xizmat qiladi.

1-jadval.

Olmaliq KMK mis boyitish fabrikasi chiqindilarining kimyoviy tarkibi

Oksidlar va elementlar	Tarkib, %	Oksidlar va elementlar	Tarkib, %
SiO ₂	67,31	SO ₃	0,41
Fe _{umumiy}	8,69	CO ₂	0,90
Fe ₂ O ₃	8,83	P ₂ O ₅	0,17
FeO	3,23	H ₂ O	0,49
TiO ₂	0,36	Cu	0,11
MnO	0,08	Pb	0,018
Al ₂ O ₃	11,57	Zn	0,026
CaO	1,30	As	0,0028
MgO	1,97	Sb	-
K ₂ O	4,27	Mo	0,0030
Na ₂ O	0,44	Au, g/t	0,6
Sumumiy	2,56	Ag, g/g	3,0
S _{sulfid}	2,36	Oraliq	4,34

Misning zamonaviy pirometallurgiya bosqichi yuqori haroratli agregatlarda amalga oshiriladigan murakkab issiqlik va massa almashinuvi jarayonlari bilan xarakterlanadi. Eritish jarayoni uchun tayyorlangan shixta tarkibi va qo'llaniladigan

pechning texnologik imkoniyatlari yakuniy mahsulot sifatini belgilab beradi [5, 6].

An'anaviy pirometallurgiyada keng qo'llaniladigan yallig' qaytaruvchi eritish pechlarida hosil bo'ladigan shlaklarning kimyoviy tarkibi tahlili shuni ko'rsatadiki, ularda temir va kremniy oksidlari

asosiy hajmni tashkil etadi (2-jadval). Shu bilan birga, ushbu shlaklar tarkibida 15-17% gacha magnetit (Fe_3O_4) mavjudligi aniqlangan bo'lib, bu ko'rsatkich jarayonning termodinamik muvozanatiga va misning texnologik yo'qotilishiga bevosita ta'sir ko'rsatadi [7, 8].

2-jadval

Yallig' qaytaruvchi eritish pechidan ajraldigan shlaklarning kimyoviy tarkibi va miqdori

Yallig' qaytaruvchi eritish pechi	Tarkibi, %
$\text{Fe}_{\text{umumiy}}$	31-35
SiO_2	32-35
Al_2O_3	3-7
CaO	2-5
Cu	0,6-0,9
Zn	1-2
Pb	0,1-0,3
S	1-2
Fe_3O_4	15-17

“Olmaliq KMK” AJ Mis eritish zavodida olingan qiyosiy ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, an'anaviy yallig' qaytaruvchi pechlarga nisbatan Kislorodli-mash'alali eritish (KME) texnologiyasi yuqori samaradorlikka ega. Xususan, shixta bo'yicha solishtirma unumdorlik KME pechlarida 10–12 t/m² ni tashkil etib, an'anaviy usuldan deyarli ikki barobar yuqoridir [9, 10].

Shteyn tarkibidagi mis miqdori ham sezilarli darajada farq qiladi: yallig' qaytaruvchi pechlarda bu ko'rsatkich 22–28% ni tashkil etsa, KME pechlarida 40–50% gacha ko'tariladi. Bu esa olinayotgan oraliq mahsulotning boyligini va keyingi bosqichlarda (konvertorlashda) qayta ishlash xarajatlarining kamayishini ta'minlaydi [11, 12]. Misni shteynga o'tish darajasi har ikkala usulda ham bir xil (97%) bo'lsa-da, KME jarayonida oltingugurtning texnologik gazlardan ajratib olinishi 92% ni tashkil etishi (yallig' qaytaruvchi pechda 28%) ushbu texnologiyaning ekologik jihatdan ham afzalligini isbotlaydi [13, 14]. Quyidagi 3-jadvalda ushbu pechlarning asosiy qiyosiy ko'rsatkichlari keltirilgan

3-jadval

Olmaliq mis eritish zavodidagi eritish pechlarining ayrim taqqoslovchi ko'rsatkichlari

T/r	Ko'rsatkichlar nomi	O'lchov birligi	Yallig' qaytaruvchi pechda eritish	KME pechda eritish
1.	Shixta bo'yicha solishtirma unumdorlik	t/m ²	5 – 6	10 – 12
2.	Shteyn tarkibidagi mis miqdori	%	22 – 28	40 – 50
3.	Misning shteynga o'tish miqdori	%	97	97
4.	Oltingugurtning texnologik gazdan olinish miqdori	%	28	92

Ushbu natijalar shuni ko'rsatadiki, zamonaviy avtogen jarayonlar (KME) ishlab chiqarish quvvatini oshirish bilan birga, mineral xomashyoni kompleks qayta ishlash darajasini ham tubdan yaxshilaydi [15, 16].

Avtogen jarayonlarga mo'ljallangan xomashyo uchun maxsus talablar qo'yiladi. Eng asosiy talab shundan iboratki, uning tarkibidagi zarur birikmalar kislorod bilan o'zaro reaksiyaga kirishganda ajralib chiqadigan issiqlik miqdori xomashyo yoki shixtani eritish uchun yetarli bo'lishi lozim. Avtogen jarayonlar ichki kimyoviy reaksiyalar hisobiga to'liq o'z-o'zini issiqlik bilan ta'minlaydigan texnologik jarayonlar hisoblanadi. Shuningdek, aralash jarayonlar ham mavjud bo'lib, ularda ham tashqaridan beriladigan issiqlik, ham ekzotermik reaksiyalar natijasida ajralib chiqadigan issiqlik birgalikda foydalaniladi.

Mis sulfidli boyitmalarni pirometallurgik qayta ishlash jarayonida murakkab fizik-kimyoviy reaksiyalar sodir bo'ladi. Asosiy sulfidli minerallar

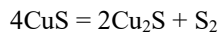
yuqori harorat ta'sirida parchalanadi va oksidlanish jarayonlari bilan birga kechadi.

Avtogen jarayonlarga mo'ljallangan xomashyo uchun maxsus talablar qo'yiladi. Eng asosiy talab shundan iboratki, uning tarkibidagi zarur birikmalar kislorod bilan o'zaro reaksiyaga kirishganda ajralib chiqadigan issiqlik miqdori xomashyo yoki shixtani eritish uchun yetarli bo'lishi lozim. Avtogen jarayonlar ichki kimyoviy reaksiyalar hisobiga to'liq o'z-o'zini issiqlik bilan ta'minlaydigan texnologik jarayonlar hisoblanadi. Shuningdek, aralash jarayonlar ham mavjud bo'lib, ularda ham tashqaridan beriladigan issiqlik, ham ekzotermik reaksiyalar natijasida ajralib chiqadigan issiqlik birgalikda foydalaniladi. Mis sulfidli boyitmalarni pirometallurgik qayta ishlash jarayonida murakkab fizik-kimyoviy reaksiyalar sodir bo'ladi. Asosiy sulfidli minerallar yuqori harorat ta'sirida parchalanadi va oksidlanish jarayonlari bilan birga kechadi.

Bornit (Cu_5FeS_4) qizdirilganda quyidagi parchalanish reaksiyasi sodir bo'ladi:



Ushbu jarayon havo atmosferasida taxminan 800–840°C oralig'ida faol kechadi. Xuddi shuningdek, mis sulfidi (CuS) ham qizdirish jarayonida oson parchalanib, quyidagi reaksiyaga kirishadi:

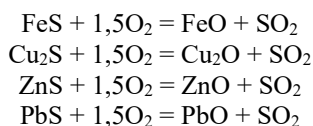


Pirit (FeS₂) esa termik parchalanish natijasida FeS va oltingugurtga ajraladi:

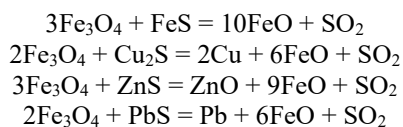


Harorat ortishi va oksidlovchi muhit ta'sirida temir sulfidlari bosqichma-bosqich oksidlanib, avval FeO, so'ng esa gematit (Fe₂O₃) va magnetit (Fe₃O₄) hosil qiladi. Bu jarayonlar eritish muhitining oksidlovchi xususiyatiga bevosita bog'liqdir. Rux asosan ZnS holatida uchraydi. Eritish jarayonida u qisman oksidlanib ZnO va ZnSO₄ birikmalarini hosil qiladi, shuningdek yuqori haroratda gaz fazasiga o'tishi mumkin. Ruxning taqsimlanishi quyidagicha kuzatiladi: shteynga 3–15%, changga 15–25%, toshqolga 62–72%. Mis boyitmalarida qo'rg'oshin va boshqa nodir elementlar ham uchraydi. Ularning jarayon mahsulotlari bo'yicha taqsimlanishi shteynda, toshqolda va chang – gazlarda quyidagi tarkibda Cd-12-80 %; In-20-39 %; Se-38-49%; Te -18-72 % gacha hosil bo'lishi mumkin.

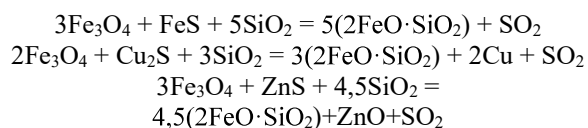
KMEP (kislorodli-mash'alali eritish pechi) jarayonida yuqori haroratli alanga zonasi sulfidlarni oksidlaydi, ayrim hollarda esa ularni bevosita parchalaydi. Asosiy oksidlanish reaksiyalari quyidagicha ifodalanadi:



Temir sulfidlari FeO va magnetitgacha oksidlanishi mumkin. Magnetitning miqdori sulfidlarning qaytarilish reaksiyalari intensivligiga va jarayonning harorat hamda gaz fazasi tarkibiga bog'liqdir. Magnetit sulfidlar bilan quyidagi reaksiyalarda ishtirok etadi:



Kremniy dioksidi ishtirokida esa quyidagi kompleks reaksiyalar sodir bo'ladi:



Eritish jarayonida oksid va sulfid fazalarining o'zaro ta'siri shteyn va toshqol hosil bo'lishiga olib

keladi. Ushbu ajralish jarayoni eritmalarining zichlik va sirt tarangligi farqi asosida yuz beradi.

Toshqolning o'rtacha tarkibi: 0,8–1,0% Cu; 32–35% SiO₂; 37–40% FeO; 6–8% CaO. Shteyn tarkibi esa: 32–36% Cu; 32–36% Fe; 24–26% S; 7–8% Fe₃O₄.

Olmalik mis eritish zavodida bir sutkada o'rtacha 100 tonnagacha magnetit hosil bo'ladi. Magnetitning to'liq qaytarilmasligi natijasida u shteyn va toshqol fazalariga taqsimlanadi. Bu jarayon quyidagi koeffitsient orqali ifodalanadi:

$$K = \% \text{Fe}_3\text{O}_4 \text{ t.sh.} : \% \text{Fe}_3\text{O}_4 \text{ sh.t}$$

Magnetit asosan toshqolda to'planadi va pechdan chiqib ketadi. Uning ortiqcha miqdori pech tubida cho'kma hosil bo'lishiga olib keladi. Bu esa pechning ish hajmini kamaytiradi, issiqlik va massa almashinuvini yomonlashtiradi, shuningdek misning shlak bilan yo'qotilishini oshiradi. Bunday holatlarda jarayonni barqarorlashtirish uchun haroratni oshirish va kremnezemli fluslarni qo'shish talab etiladi.

Hozirgi kunda respublika miqyosida mis eritish sanoati shlaklarining umumiy zaxiralari 11–13 mln tonnadan ortiqni tashkil etib, ushbu ko'rsatkich har yili o'rtacha 400 ming tonnaga ortib bormoqda [8,17]. Ushbu texnogen chiqindilar nafaqat katta hududlarni egallashi, balki atrof-muhitning ekologik muvozanatiga salbiy ta'sir ko'rsatishi bilan ham xarakterlanadi [2].

“Olmalik KMK” AJ mis eritish zavodida suyuq vannali eritish (Vanyukov pechi) texnologiyasi joriy etilgunga qadar, asosiy agregatlar sifatida yallig' qaytaruvchi va kislorod-mash'alali eritish pechlari qo'llanilgan. Tadqiqot ob'ekti sifatida aynan ushbu an'anaviy pechlarning shlaklari tanlab olindi. Tahlillarga ko'ra, ushbu shlaklar tarkibida temir miqdori 35–40% ni, mis esa 0,7% gacha bo'lishi aniqlangan [18].

ESKPERIMENTAL QISMI

Mis va boshqa elementlar o'rtasidagi bog'liqlikni korelyatsion tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, mis asosan sulfidli fazalar bilan bog'liq bo'lib, bu natija mineralogik tadqiqot usullari orqali o'z tasdig'ini topgan. Shlaklar tarkibidagi ikkinchi muhim qimmatbaho metall – molibden hisoblanadi. Uning miqdori 0,011% dan 0,14% gacha (o'rtacha 0,06%) o'zgarib turadi. Molibdenning shlak yuzasi bo'ylab taqsimlanishi notekis bo'lib, tarkibida ushbu metall miqdori 0,101% gacha yetadigan uchta asosiy boyitilgan hudud ajratib ko'rsatiladi.

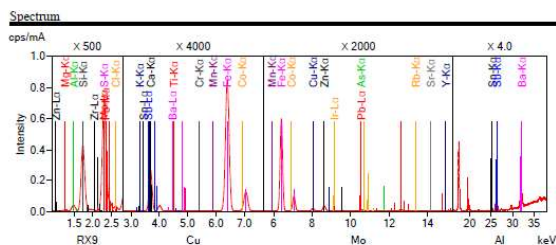
Geokimyoviy tahlillar molibdenning magniy va alyuminiy bilan yaqin bog'liqligini, kremniy, kaliy va titan bilan esa kuchsizroq bog'lanishini ko'rsatadi. Molibden xalkofill elementlar (oltin, mis, surma, qalay, qo'rg'oshin) bilan deyarli bog'lanmaydi. Shlaklardagi molibdenning asosiy qismi (80% dan ortig'i) shpinel va fayalit minerallari bilan bog'langan

bo'lib, ushbu minerallar molibden uchun asosiy konsentrat hisoblanadi [22, 23]. Kristallografik nuqtai nazardan, molibdenning ushbu minerallar panjarasida Al^{3+} yoki Cu ionlari bilan almashinishi ion radiuslarining yaqinligi sababli energetik jihatdan qulay hisoblanadi va tahliliy qiymatlar 4-jadvalda keltirilgan.

4-jadval

Mis eritish shlaklarining o'rtacha kimyoviy tarkibi keltirilgan.

Birikmalar	Miqdori
Cl	0.128
MgO	1.28
Al_2O_3	5.44
SiO_2	33.3
P_2O_5	1.15
SO_3	6.91
K_2O	1.68
CaO	3.53
TiO_2	0.246
Cr_2O_3	0.0117
MnO	0.118
Fe_2O_3	42.4
Co_2O_3	0.0943
CuO	1.34
ZnO	1.04
As_2O_3	0.0464

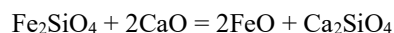


1-rasm. Mis eritish pechlaridan hosil bo'lgan shlak namunalari va XRF tahlili

Mis eritish shlaklaridan temir va molibdenni ajratib olish jarayoni ularning mineralogik va

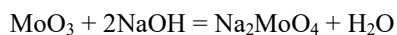
termodinamik xususiyatlaridan kelib chiqqan holda ikki xil yo'nalishda tahlil qilinadi:

1. Temirni ajratib olish - fayalit fazasini parchalash. Shlakning asosini tashkil etuvchi fayalit (Fe_2SiO_4) o'ta barqaror birikma bo'lib, undan temirni ajratib olish uchun tiklovchi-boyituvchi eritish yoki magnitli separatsiya usullari qo'llaniladi. Fayalit tarkibidagi temir oksidini tiklash uchun shixtaga ohaktosh (CaO) qo'shiladi. Bu jarayonda CaO kremniy dioksidi (SiO_2) bilan bog'lanib, temir oksidini erkin holatga o'tkazadi



Keyingi bosqichda FeO qattiq uglerod yordamida metall holatigacha tiklanadi. Bu nafaqat temirni ajratib olish, balki shlakni tozalash (obezmednivaniya) jarayonini ham tezlashtiradi [19].

2. Molibdenni selektiv ajratib olish. Molibden shlak tarkibida asosan shpinelidlar va silikatlar panjarasida joylashganligi sababli, uni ajratib olish ancha murakkab jarayon hisoblanadi. Geokimyoviy mexanizm: Molibden Mo^{4+} , Mo^{6+} ionlari o'zining iyon radiusi va valentligi jihatidan shlakdagi alyuminiy va temir iyonlariga yaqinligi sababli izomorfizm qonuniyatiga ko'ra minerallar panjarasiga kirib ketadi [16]. Gidrometallurgik yechim: Molibdenni ajratib olishda shlakni avtoklavda ishqoriy tanlab eritish usuli samarali hisoblanadi. Bunda molibden eruvchan molibdat (Na_2MoO_4) shakliga o'tadi:



Hosil bo'lgan texnologik eritmalaridan molibdenni ajratib olishda SIM-202 kabi ion almashinuvchi smolalar yordamida selektiv sorbsiya jarayoni qo'llaniladi. Bu usul eritma tarkibidagi reny va molibdenni yuqori darajada konsentratsiyalash imkonini beradi [20,21].

Shlaklar, chang va gaz chiqindilari o'rtasidagi bog'liqlikni metallurgiya jarayoni-ning yaxlit texnologik sikli sifatida ilmiy uslubda quyidagicha ifodalash mumkin. Bu qism shlaklar bo'limidan keyin va changlar bo'limidan oldin "ko'priq" vazifasini o'taydi hamda uch xil fazani – suyuq shteyn va shlak, va chang-gaz aralashma fazalarning murakkab o'zaro ta'sir markazini yuzaga keltiradi [15, 22].

Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, eritish pechlarida issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarining jadalligi nafaqat suyuq shlaklarning shakllanishiga, balki gaz fazasi bilan birga sezilarli miqdordagi komponentlarning aerosol va dispers chang holda chiqib ketishiga ham sabab bo'ladi. Xususan, shlak tarkibidagi elementlarning (Cu , Pb , Zn , Re) taqsimlanish koeffitsienti pech ichidagi harorat va oksidlanish-qaytarilish potentsialiga bevosita bog'liqdir [4,6].

Pirometallurgiya agregatlarida kechadigan yuqori haroratli reaksiyalar natijasida qimmatbaho va nodir

metallarning bir qismi shlak fazasida qolsa, ularning uchuvchan birikmalari (ayniqsa, suboksidlar va sulfidlar holida) gaz oqimi bilan birga pech bo'shlig'ini tark etadi. Masalan, reniy va qo'rg'oshin kabi elementlar yuqori bug' bosimiga ega bo'lganligi sababli, ularning asosiy qismi shlakdan ko'ra gaz-chang chiqindilarida konsentratsiyalanish moyilligiga ega [9,16]. Shu sababli, metallurgiya zavodining texnogen chiqindilarini kompleks baholashda suyuq toshqollar (shlaklar) bilan bir qatorda, gazlarni tozalash tizimlarida ushlanib qolinadigan dispers zarrachalar - texnologik changlarning fizik-kimyoviy

xususiyatlarini o'rganish alohida ilmiy ahamiyat kasb etadi.

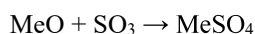
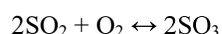
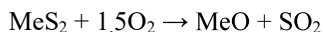
Shteynga eritish jarayonlari yuqori harorat va bosim ostida kechgani sababli katta hajmda chang va gazlar ajralib chiqadi. Ushbu chiqindilar maxsus filtr qurilmalari yordamida ushlab qolinadi. Masalan, faqatgina Vanyukov pechining o'zida bir sutka davomida elektrofiltrlar orqali yig'iladigan mayda chang miqdori 10-18 tonnani tashkil etadi. "Olmaliq KMK AJ" konvertor hamda suyuq vannada eritish pechlari elektrofiltr changlarining tarkibi 5- jadvalda keltirilgan.

5-jadval

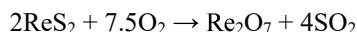
Konvertor hamda suyuq vannada eritish pechlari elektrofiltr changlarining tarkibi

Komponent, %	Konvertor	VP elektrofiltr	Komponent %	Konvertor	VP elektrofiltr
Cu	1,5	5,04	Pb	43,49	32
Fe _{um.}	0,37	7,96	Re	0,0034	0,0005
SiO ₂	0,008	1,64	S	0,002	10,93
Al ₂ O ₃	0,46	0,56	MgO	1,16	1,52
CaO	0,24	0,54	Ag g/l	7	10
Zn	12,56	7,49	Au g/t	12	5

"Olmaliq KMK AJ" tarkibidagi kamyob metallar ishlab chiqarish sexida molibden yarim tayyor mahsuloti-flotokonsentrat oksidlovchi kuydirish jarayonidan o'tkaziladi. Ushbu jarayon odatda 500–600 °C harorat oralig'ida amalga oshiriladi. Natijada mis, temir, qo'rg'oshin, rux kabi metallarning sulfidlari kislorod bilan reaksiyaga kirishib, tegishli oksidlar va sulfatlarni hosil qiladi:



Molibdenitlarni kuydirish jarayonida reniyni katta qismi oksidlanib, Re₂O₇ shaklida sublimatsiyalanadi va gaz oqimi bilan birga ajralib chiqadi:

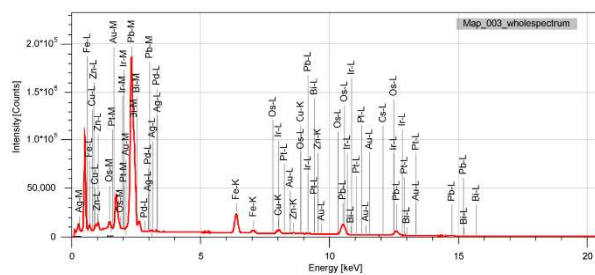


Hosil bo'lgan chiqindi gazlar vakuum ta'sirida chang ushlovchi kameraga yo'naltiriladi va keyin ichi bo'sh skrubberga uzatiladi. Skrubberda suv bilan yuvish natijasida reniy va osmiyga oid gazlar konsentratsiyalanadi, shuningdek molibden birikmalari hamda oltingugurt oksidlarining bir qismi ushlab qolinadi. Reniyni konsentratsiyasini oshirish maqsadida eritmalar bir necha marotaba aylantiriladi. Natijada tarkibida 300–350 g/dm³ H₂SO₄ bo'lgan eritmada reniy miqdori 0,7–3 g/dm³ gacha yetkaziladi. Keyingi bosqichda eritma filtrlanib, undagi yirik zarrachalar ajratib olinadi va sorbsiya jarayoniga yuboriladi. Sorbsiya jarayonida eritma bosim ostidagi rezervuarlardan o'tkazilib, SIM-202 sorbenti bilan to'ldirilgan, pastdan yuqoriga ketma-ket ulangan ustunlar orqali o'tkaziladi. Ushbu bosqichdan

so'ng hosil bo'lgan texnologik eritmada molibden, reniy va boshqa metallarni ajratib olish imkoniyati yaratiladi. Bu esa nafaqat atrof-muhitni muhofaza qilish, balki xomashyoni kompleks qayta ishlash samaradorligini ham oshiradi. Sorbsiya jarayonidan keyingi texnologik eritma tarkibining tahlil natijalari 6-jadvalda keltirilgan.

Elementlar	Miqdori mg/l	Elementlar	Miqdori mg/l
Reniy	20	Iridiy	1
Oltin	1	Ruteniy	1
Platina	9	Alyuminiy	396
Kumush	77	Kalsiy	789
Kobalt	2	Marganets	48
Xrom	3	Nikel	113
Magniy	48	Qo'rg'oshin	428
Surma	60	Palladiy	9
Qalay	4	Kremniy	42
Molibden	8-16 g/l	Rux	2.1 g/l
Mis	1.7 g/l	Temir	1.1 g/l





2-rasm. Mis eritish pechlaridan hosil bo'lgan changlarning namunasi va ularning kimyoviy elementlar tarkib spektri

XULOSA

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, "Olmaliq KMK" AJ mis eritish zavodida qo'llanilayotgan zamonaviy avtogen texnologiyalar, xususan kislorodli-mash'alali eritish (KME) jarayoni, an'anaviy yallig' qaytaruvchi pechlarga nisbatan texnologik, iqtisodiy va ekologik jihatdan sezilarli ustunliklarga ega. KME pechlarida yuqori solishtirma unumdorlik, shteyn tarkibida mis miqdorining ortishi hamda oltingugurtning yuqori darajada gaz fazasiga ajralishi ishlab chiqarish samaradorligini oshirish bilan birga, keyingi qayta ishlash bosqichlarida

xarajatlarni kamaytiradi va atrof-muhitga salbiy ta'sirni sezilarli darajada pasaytiradi. Shu bilan birga, mis eritish jarayonlarida hosil bo'ladigan shlaklar muhim texnogen xomashyo sifatida baholanib, ularning tarkibida temir, mis va molibden kabi qimmatli komponentlarning mavjudligi ularni qayta ishlash zaruratini asoslaydi. Temirni tiklovchi eritish va magnitli separatsiya orqali ajratib olish, molibdeni esa gidrometallurgik usullar yordamida ishqoriy eritish va ion almashinish sorbsiyasi yordamida selektiv ajratish samarali natijalar berishi aniqlandi. Chang va gaz chiqindilarining tarkibida ham noyob va nodir metallar, ya'ni reniy va molibden metallari mavjudligi aniqlandi. Gaz - tozalash tizimlarini takomillashtirish va sorbsiya texnologiyalarini qo'llash orqali ushbu komponentlarni qayta tiklash imkonini beradi. Molibdenitlarni oksidlovchi kuydirish jarayonida hosil bo'ladigan gazlardan reniyni samarali ajratib olish texnologiyasi ishlab chiqilgan bo'lib, bu kompleks qayta ishlash samaradorligini oshiradi. Bunday yondashuv xomashyoni maksimal darajada kompleks qayta ishlash, qimmatli komponentlarni yo'qotilishini kamaytirish hamda ekologik barqarorlikni ta'minlash imkonini beradi.

ВИДЫ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА МЕДИ, И ИХ ХИМИКО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Мирзажанова С.Б., Мансурова Д.А., Боймирзаева Ж.И., Яркулова Н.И., Наврозова М.К.

Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан

АННОТАЦИЯ

В данной статье исследованы виды техногенных отходов, образующихся в процессе производства меди, их химико-аналитический состав, а также возможности их комплексной переработки. Основной целью является максимальное извлечение полезных компонентов из минерального сырья и полиметаллических руд, а также повышение эффективности производства. В ходе работы подробно проанализированы минералогические особенности твёрдых, жидких и газообразных отходов, образующихся в результате деятельности Алмаыкского горно-металлургического комбината, включая обогатительную фабрику и медеплавильный завод. Проведён анализ состава отходов обогатительной фабрики, шлаков, выделяющихся из плавильных печей, а также газов и пылей. Установлено, что в составе отходов содержится не только медь (от 0,11% до 5,04%), но и такие ценные металлы, как золото, серебро, свинец и цинк. В статье также обоснована экономическая и экологическая значимость переработки технологических отходов, образующихся при производстве рения и молибдена, а также сточных вод, формирующихся в сернокислотных цехах в больших объёмах (до 100 м³ в час). Практическая значимость научной работы заключается в том, что предлагаемые методы переработки способствуют снижению себестоимости продукции, комплексному использованию сырья и решению экологических проблем в промышленных регионах. В работе рассмотрены проблемы отходов, накопленных за последние годы на Алмаыкском горно-металлургическом комбинате в результате процессов флотации, обогащения и металлургического производства. В результате деятельности предприятия накоплены значительные объёмы промышленных отходов: количество отходов, образующихся при флотации, составляет примерно 955–960 млн тонн, а отходы медеплавильного производства оцениваются в 11–13 млн. тонн. При обогащении флотационными методами в составе отходов преимущественно присутствуют элементы Cu, Zn, Mo, Fe, Au, Ag, при этом наличие минералов с высоким содержанием серы, таких как FeS₂, FeS, Fe₇S₈, приводит к потерям ценных компонентов. Одной из основных проблем является

содержание серы в пределах 1,38–10,5% (в зависимости от размера гранул), а также SiO_2 в пределах 65–69%. Анализ показал, что содержание железа в отходах составляет 42%, меди - 0,891%. За счёт раскрытия поверхности измельчённых отходов наблюдается увеличение магнитной восприимчивости на 0,8%. Проведённые исследования показали, что содержание кварца в отходах оказывает отрицательное влияние на образование вюститовых соединений, и для устранения этого эффекта изучено кинетическое воздействие извести. Установлено, что оптимальное соотношение добавляемой извести составляет 1:0,5, что способствует увеличению содержания кремния и образованию соединения $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. При этом важную роль играют оптимальная температура и время процесса. Для корректного протекания процесса при температуре 1000°C и полного взаимодействия кислорода необходимо обеспечить перемешивание внутри агрегата. Основной целью переработки отходов является очистка окружающей среды от техногенных загрязнений, что остаётся одной из актуальных задач. Использование современных или малозатратных технологий переработки отходов является крайне необходимым для снижения их негативного воздействия на окружающую среду.

**КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА**

промежуточные продукты, техногенные отходы, переработка пыли, пирометаллургические процессы, химическое обогащение, гидрометаллургия

TYPES OF TECHNOGENIC WASTE GENERATED IN THE COPPER PRODUCTION PROCESS AND THEIR CHEMICAL AND ANALYTICAL COMPOSITION

S.B.Mirzajanova, D.A.Mansurova, J.I.Boymirzayeva, N.I.Yarqulova, M.K.Navruzova

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

ABSTRACT

This article investigates the types of technogenic waste generated during copper production, their chemical and analytical composition, and the possibilities for their comprehensive processing. The main objective is to maximize the extraction of valuable components from mineral raw materials and polymetallic ores, as well as to improve production efficiency. The study provides a detailed analysis of the mineralogical characteristics of solid, liquid, and gaseous wastes formed as a result of the activities of the Almalyk Mining and Metallurgical Complex, including the beneficiation plant and the copper smelting plant. The composition of beneficiation tailings, slags from smelting furnaces, as well as gases and dust emissions were analyzed. It was established that the waste contains not only copper (from 0.11% to 5.04%), but also valuable metals such as gold, silver, lead, and zinc. The article also substantiates the economic and environmental significance of processing technological waste generated during rhenium and molybdenum production, as well as large volumes of wastewater (up to 100 m³ per hour) formed in sulfuric acid production units. The practical significance of the study lies in the fact that the proposed processing methods contribute to reducing production costs, ensuring the comprehensive utilization of raw materials, and solving environmental problems in industrial regions. The paper also examines the problems of waste accumulated in recent years at the Almalyk Mining and Metallurgical Complex as a result of flotation, beneficiation, and metallurgical processes. As a result of the enterprise's activity, significant amounts of industrial waste have accumulated: flotation tailings amount to approximately 955–960 million tons, while waste from copper smelting plants is estimated at about 11–13 million tons. During flotation-based beneficiation, the waste mainly contains elements such as Cu, Zn, Mo, Fe, Au, and Ag, while the presence of sulfur-rich minerals such as FeS_2 , FeS , and Fe_7S_8 leads to the loss of valuable components. One of the main issues is the sulfur content ranging from 1.38% to 10.5% (depending on particle size), as well as SiO_2 content ranging from 65% to 69%. Analysis shows that the iron content in the waste is about 42%, while copper content is 0.891%. Due to the liberation of particle surfaces after grinding, the magnetic susceptibility increases by 0.8%. The conducted studies show that the quartz content in the waste negatively affects the formation of wüstite compounds, and the kinetic effect of lime has been investigated to eliminate this issue. It was found that the optimal ratio of added lime is 1:0.5, which promotes an increase in silicon content and the formation of $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ compounds. In this process, temperature and time are critical parameters. At 1000°C, proper mixing within the unit is required to ensure complete oxygen interaction and proper process

progression. The main objective of waste processing is the removal of technogenic pollutants from the environment, which remains one of the most pressing challenges. The application of modern or low-cost technologies for waste treatment is essential to reduce their negative environmental impact.

KEYWORDS: intermediate products, technogenic waste, dust processing, pyrometallurgical processes, chemical beneficiation, hydrometallurgy

REFERENCES:

1. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Maslennikov S.A. Protection of the natural geological environment by utilization of ore dressing tailings. *Izvestiya Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*. 2015. Vol. 326. No. 6. pp. 6–15.
2. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Lukyanov V.G. Ecological and economic aspects of resource conservation in the development of mineral deposits. *Izvestiya Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*. 2017. Vol. 328. No. 6. pp. 18–27.
3. Хасанов А.С., Санакулов К.С., Атаханов А.С. Технологическая схема комплексной переработки шлаков Алмалыкского ГМК. *Цветная металлургия*. 2003. № 4. С. 9–12.
4. Хасанов А.С. Пирометаллургическое обеднение твердых и жидких конвертерных шлаков ВСК без увеличения выбросов серы в окружающую среду. Автореф. дис.канд. техн. наук. МИСиС. 1991. 21 с.
5. Купряков Ю.П. Отражательная плавка медных концентратов. М.: Металлургия. 1976. 262 с.
6. Piatak N.M., Parsons M.B., Seal R.R. Characteristics and environmental aspects of slag: A review. *Appl. Geochem*. 2015. Vol. 57. pp. 236–266.
7. Самадов А.У., Аскарлова Н.М. Совершенствование переработки шлаков медного производства. Ташкент: VNESHINVESTPROM. 2020. 103 с.
8. Санакулов К.С., Хасанов А.С. Переработка шлаков медного производства. Ташкент: Фан. 2007. 256 с.
9. Сигедин В.Н., Аранович В.Л., Довченко В.А., Хасанов А.С., Руденко Б.И. Процесс медной плавки на АГМК. *Горный журнал*. 1999. № 7. С. 36–38.
10. Sigedin V.N., Aranovich V.L., Dovchenko B.A., Khasanov A.S. Progress in copper melting at Almalyk mining and metallurgical integrated works. Allerton Press. 2006. pp. 14–15.
11. Хасанов А.С. Развитие производства меди. *Вестник ТашГТУ*. 2004. № 3. С. 168–173.
12. Тарасов А.В., Уткин Н.И. Общая металлургия. М.: Металлургия. 1997.
13. Хасанов А.С., Сигедин В.Н., Довченко В.А. Способ плавки медных концентратов. Патент РУз № 5071. 1997.
14. Диомедовский Д.А. Расчеты пиропроцессов цветных металлов. М.: Металлургия. 1963.
15. Мечев В.В., Быстров В.П. и др. Автогенные процессы в цветной металлургии. М.: Металлургия. 1976. 360 с.
16. Tian H., Guo Z., Pan J., Zhu D., Yang C., Xue Y., Li S., Wang D. Comprehensive review on metallurgical recycling and cleaning of copper slag. *Resour. Conserv. Recycl.* 2021. Vol. 168. 105366.
17. Zhang C., Hu B., Wang H., Wang M., Wang X. Recovery of valuable metals from copper slag. *Min. Metall. Explor.* 2020. Vol. 37. pp. 1241–1251.
18. Shen H., Forssberg E. An overview of recovery of metals from slags. *Waste Manag.* 2003. Vol. 23. pp. 933–949.
19. Mirzajanova S.B. MBF chiqindilaridan FeSiO₃ kinetikasi o'rganish. *Konchilik mashinalari va texnologiyalari*. ISSN: 2181-3442. 27-34 b.
20. Abduraxmonov S., Mamaraximov S., Xaydaraliyev X., Shaxobov T. Olmaliq sharoitida konvertor changlarini qayta ishlashning zamonaviy usuli. *Science and Education*. 2022. Vol. 3. No. 4. pp. 315–319.
21. Mamarahimov S.K., Rahimov S.D., Xoliqulov D.B. Kamyob metallar ishlab chiqarishda ajralib chiqayotgan chiqindi suvlar tarkibidan metallarni ajratib olish imkoniyatlarini o'rganish. *Science and Education*. 2021. Vol. 2. No. 6. pp. 278–283.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Mirzajonova Saodat Bakidjanovna	– Assistant Professor, Head of Department, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, 100095, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Olmazor district, University str. 2. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0375-6415 , e-mail: sabi30302@gmail.com
Mansurova Dildora Axyor qizi	– first-year master's student at the department of Mine surveying and geodesy, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan, e-mail: mansurovadildora599@gmail.com

Boymirzayeva Jasmina Ibroxim qizi	– first-year master's student at the department of Mine surveying and geodesy, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan, e-mail: ibragimovna29@gmail.com
Yarqulova Nozima Ibragim qizi	– first-year master's student at the department of Mine surveying and geodesy, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan, e-mail: ibragimovna@gmail.com
Navruzova Mohinur Komiljon qizi	– first-year master's student at the department of Mine surveying and geodesy, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan, e-mail: tojiddinovamokhinur@gmail.com

УПРАВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТЬЮ МНОГОЯРУСНЫХ ОТВАЛОВ КАРЬЕРОВ ПУТЁМ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРИВОЛИНЕЙНОГО ФРОНТА В ПЛАНЕ

Умаров Ф.Я., Каримов Ш.В., Норов Д.Ш.

*Филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС» в г. Алмалык
Навоийский инновационный университет, Республика Узбекистан*

Doi: 10.5281/zenodo.20280068

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты теоретического обоснования геометрических параметров криволинейного фронта многоярусных отвалов в плане как фактора управления устойчивостью. Установлена обратная степенная зависимость зоны захвата оползня от радиуса отвала в плане $B_p(R) = 25 + 42 \cdot (205/R)^{0,85}$ с обоснованными граничными условиями: при $R \rightarrow \infty$ зона захвата стремится к асимптоте $B_\infty = 25$ м (предельный случай прямолинейного фронта); при $R \rightarrow 0$ – к бесконечности (вырожденная геометрия). Показано, что переход от классической выпуклой формы отвала к вогнутой форме с радиусом кривизны $R_{вогн} = R_{тр}$ обеспечивает снижение зоны возможного обрушения в 2,5 раза за счёт благоприятного перераспределения горизонтальных напряжений в массиве (эффект пространственной арки). На основе разработанной модели обоснованы параметры криволинейного фронта трёхъярусного автомобильного отвала 60/60/60 м для условий карьеров «Мурунтау» и «Ёшлик-1». Численная верификация в Rocscience Slide2 (3D-расчёт) подтверждает повышение коэффициента запаса устойчивости вогнутого отвала на 18 % по сравнению с прямолинейным. Прогнозный годовой экономический эффект внедрения – 12 470 млн сум за счёт сокращения землеотвода под предохранительные бермы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

многоярусный отвал, криволинейный фронт, зона возможного обрушения, радиус отвала в плане, вогнутая форма, пространственный арочный эффект, устойчивость откоса, метод конечных элементов, карьер «Мурунтау», карьер «Ёшлик-1».

ВВЕДЕНИЕ

Открытая разработка крупных месторождений полезных ископаемых сопровождается образованием значительных объёмов вскрышных пород, размещаемых в отвалах с криволинейным фронтом в плане. На карьерах «Мурунтау» АО «Навоийский ГМК» и «Ёшлик-1» АО «Алмалыкский ГМК» отвалы формируются преимущественно по выпуклой схеме с радиусом кривизны 150–300 м, что обусловлено геометрией размещения относительно карьерного пространства и направлением транспортирования вскрыши [1, 2].

Геометрия фронта отвала в плане оказывает существенное влияние на формирование зоны возможного обрушения и общую устойчивость сооружения. При выпуклой форме фронта

горизонтальные напряжения в массиве распределяются радиально-расходящимся образом, что увеличивает зону возможного обрушения; при вогнутой форме напряжения распределяются сходящимся образом с формированием эффекта пространственной арки, что снижает зону возможного обрушения и повышает общую устойчивость [3, 4].

Действующие нормативные методики проектирования отвалов [5, 6] рассматривают преимущественно плоско-деформированную задачу устойчивости, не учитывая трёхмерных эффектов криволинейного фронта в плане. Это приводит к занижению расчётной устойчивости вогнутых отвалов и завышению расчётной устойчивости выпуклых, что снижает эффективность проектных решений и приводит к