AGMK MOF-3 SHARLI TEGIRMON GIDROTRANSPORT TIZIMIDA PO'LAT SHAR PARCHALARINING ABRAZIV YEMIRISH TA'SIRINI STATSIONAR MAGNITLI USHLAGICH BILAN KAMAYTIRISH

Marasulov Murodjon Soyibjon o'g'li
E-mail: marasulov292@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.23318338

Annotatsiya. Ochiq usulda qazib olingan mis-molibden rudasini boyitish jarayonida sharli tegirmonlarda maydalanuvchi po'lat sharlarning yemirilishi natijasida hosil bo'ladigan mayda po'lat parchalari tegirmon bo'shatish butarasidan o'tib, gidrotransport tizimiga shlam nasosi va gidrosiklonga tushadi hamda ularning ish yuzalarini o'tkir qirralari bilan tez yemiradi. Ushbu maqolada AGMK MOF-3 korxonasining Warman 450 nasosi va CAVEX 500CVX10 gidrosiklonining texnik pasportlari asosida ushbu yemirilish mexanizmi aniqlashtirilgan, tegirmon bo'shatish tsapfasiga o'rnatiluvchi statsionar magnitli ushlagich konstruksiyasi va uning asosiy tortish kuchi hisob-kitoblari taqdim etilgan, uskunalar xizmat muddatini oshirish nazariyasi ishlab chiqilgan hamda magnit tortish jarayonida qovushqoq pulpa pardasi orqali qimmatli komponentlarning (Au, Cu, Mo) yo'qolish mexanizmi, ularni asosiy oqimga qaytarish choralari va ushlangan po'lat parchalarini qayta ishlashga yo'naltirish imkoniyati muhokama qilingan. Taklif etilgan yechimning o'ziga xosligi mavjud butarani (elakni) olib tashlamasdan, uning ichiga magnit zonasini integratsiya qilish orqali ikki xil ajratish (o'lcham bo'yicha va magnit xossasi bo'yicha) bitta barabanda birlashtirilishidadir.

Kalit so'zlar: statsionar magnitli ushlagich, abraziv yemirilish, gidrotransport, shlam nasosi, gidrosiklon, po'lat shar parchalari, xizmat muddati, qovushqoqlik, mis-molibden rudasi.

Аннотация. В процессе обогащения медно-молибденовой руды, добываемой открытым способом, в шаровых мельницах в результате износа измельчающих стальных шаров образуются мелкие стальные обломки, которые проходят через разгрузочную барабанную сетку (трель) мельницы и попадают в систему гидротранспорта шламовый насос и гидроциклон, быстро изнашивая их рабочие поверхности своими острыми кромками. В данной статье на основе технических паспортов насоса Warman 450 и гидроциклона CAVEX 500CVX10 предприятия АГМК МОФ-3 уточнён данный механизм износа, представлена конструкция стационарного магнитного улавливателя, устанавливаемого на разгрузочную цапфу мельницы, и расчёт его основной силы притяжения, разработана теория повышения срока службы оборудования, а также рассмотрен механизм потерь ценных компонентов (Au, Cu, Mo) через вязкую плёнку пульпы в процессе магнитного улавливания, меры по их возврату в основной поток и возможность вторичной переработки улавливаемых стальных обломков. Особенность предложенного решения заключается в том, что без демонтажа существующей барабанной сетки (грохота) магнитная зона интегрируется внутрь неё, объединяя два вида разделения (по размеру и по магнитным свойствам) в одном барабане.

Ключевые слова: стационарный магнитный улавливатель, абразивный износ, гидротранспорт, шламовый насос, гидроциклон, обломки стальных шаров, срок службы, вязкость, медно-молибденовая руда.

Abstract. During the beneficiation of open-pit-mined copper-molybdenum ore, wear of the grinding steel balls inside the ball mills produces small steel fragments that pass through the mill's discharge trommel and enter the hydrotransport system the slurry pump and hydrocyclone rapidly abrading their working surfaces with their sharp edges. Based on the technical data sheets of the Warman 450 pump and the CAVEX 500CVX10 hydrocyclone at the AGMK MOF-3 plant, this paper clarifies this wear mechanism, presents the design of a stationary magnetic trap installed on the mill's discharge trunnion together with the calculation of its primary attractive force, develops a theory for extending equipment service life, and discusses the mechanism of valuable-component (Au, Cu, Mo) loss through the viscous pulp film during magnetic capture, the measures for returning them to the main process stream, and the potential for recycling the captured steel fragments. The distinctive feature of the proposed solution is that, without removing the existing trommel (screen), the magnetic zone is integrated inside it, combining two separation modes by size and by magnetic property within a single rotating drum.

Keywords: stationary magnetic trap, abrasive wear, hydrotransport, slurry pump, hydrocyclone, steel ball fragments, service life, viscosity, copper-molybdenum ore.

1. INTRODUCTION (KIRISH)

Mis-molibden rudasini boyitish texnologik zanjirida yanchish bosqichi - sharli tegirmonlar (МШЦ-7300×13000) orqali amalga oshiriladi. Ishlash jarayonida yanchuvchi po'lat sharlar asta-sekin yemiriladi, singadi va parchalanadi (siniq, yassilangan yoki uchli qoldiqlar hosil bo'ladi). Tegirmon konstruksiyasida bu parchalarni ushlab qolish uchun bo'shatish tomonida butara (elak) o'rnatilgan bo'lsa-da, elak teshigi geometriyasi cheklangan bo'lganligi sababli ma'lum o'lchamdagi va shakldagi parchalar undan erkin o'tib ketadi hamda pulpa oqimi bilan birga zumpfga, keyin shlam nasosiga va gidrosiklonga tushadi.

Bu parchalar oddiy ruda zarrachalaridan tubdan farq qiladi: ular yuqori zichlikka (≈7800 kg/m³), katta qattiqlikka va eng muhimi sinish natijasida hosil bo'lgan o'tkir qirralarga ega. Aynan shu xususiyat ularni gidravlik uskunalar uchun oddiy ruda zarrasidan ancha xavfliroq qiladi: yumshoq elastomer futerovkali yuzalarda o'tkir qirrali qattiq zarra kesuvchi yemirilish mexanizmini keltirib chiqaradi, bu esa abraziv oqim yemirilishidan ancha tezroq kechadi.

Ushbu muammoning texnik yechimi sifatida sanoat amaliyotida tegirmon bo'shatish tsapfasiga o'rnatiladigan statsionar (qo'zg'almas) magnitli qurilmalar qo'llanilib kelinmoqda (masalan, RU 2400306 patenti, 2013). Biroq bu yechimlarning aksariyati mavjud butarani (elakni) to'liq olib tashlashni nazarda tutadi, natijada o'lcham bo'yicha ajratish funksiyasi yo'qoladi. Ushbu tadqiqotning ilmiy yangiligi shundaki, taklif etilgan konstruksiyada butara saqlanadi, magnit zonasi uning boshlang'ich, elaksiz ("butara") qismiga integratsiya qilinadi, natijada bitta barabanda ikki xil ajratish (o'lcham bo'yicha - elak, magnit xossasi bo'yicha - doimiy magnit) birlashtiriladi.

Maqolaning maqsadi uch qismdan iborat: birinchidan, po'lat shar parchalarining aynan qaysi tugunlarni va qanday mexanizm bilan yemirishini AGMK MOF-3 uskunalari pasportlari

asosida aniqlashtirish; ikkinchidan, magnitli ushlagichning asosiy tortish kuchi hisobini taqdim etish va shu asosda uskunalar xizmat muddatini oshirish nazariyasini ishlab chiqish; uchinchidan, magnit tortish jarayonida yuzaga keladigan yon ta'sirni qovushqoq pulpa pardasi orqali qimmatli metallarning qisman yo'qolishini baholash, uni kamaytirish hamda ushlangan po'lat parchalarini qayta ishlashga, yo'qolayotgan mineral zarralarni esa asosiy pulpa oqimiga qaytarishga yo'naltirilgan amaliy yo'llarni taklif etish.

2. LITERATURE REVIEW (ADABIYOTLAR TAHLILI)

Mavzuga bevosita aloqador o'zbek tilidagi va O'zbekiston sharoitida tayyorlangan manbalar orasida alohida o'rin tutadigan asar - Shakarov T.I. va Xasanov A.S. tomonidan yozilgan, O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligining 2024-yil 25-iyundagi 218-sonli buyrug'i asosida oliy o'quv yurtlari uchun darslik sifatida tavsiya etilgan "Foydali qazilmalarni boyitish va qayta ishlash asoslari" nomli darslikdir [1]. Ushbu darslikda to'g'ridan-to'g'ri qayd etilishicha, "Olmaliq KMK" AJning yangi boyitish fabrikalarida (jumladan, MOF-3da) yuqori bosimli valli maydalagichlardan (HPGR) chiqqan 6 mm li fraksiya gidrosiklon bilan yopiq siklda ishlaydigan zoldirli (shar) tegirmonlarga tushadi va 80 % li 0,074 mm sinfdagi mahsulot flotatsiyaga jo'natiladi. Bu ma'lumot ushbu maqolaning butun texnologik zanjiri (HPGR, yopiq sikl gidrotransport) haqidagi asosiy da'vosini tasdiqlaydi; bundan tashqari, darslikning rasmiy taqrizchilaridan biri aynan "Olmaliq KMK" AJ 1-mis boyitish fabrikasi direktori bo'lgani sababli, bu ma'lumot korxona tomonidan amalda tasdiqlangan manba sifatida qaraladi.

AGMK MOF-3 gidrotransport tizimidagi abraziv yemirilish muammosiga bag'ishlangan maxsus tadqiqot [2] ushbu maqolaning bevosita ilmiy zaminini tashkil etadi: unda shlam nasoslari va quvurlarning yemirilish sabablari, futerovka materiallari va ularning tanlash mezonlari batafsil yoritilgan. Muallifning boshqa ishida [3] maydalash sifatining pastki oqim jarayonlariga (gidrotransport tizimiga) ta'siri, xususan, shar zaryadi nazorati va futerovka tanlovi masalalari texnologik-iqtisodiy nuqtai nazardan tahlil qilingan.

AGMK'ning haqiqiy ruda tarkibi va reagentlar rejimi bo'yicha rasmiy ilmiy nashr sifatida "Молодой учёный" jurnalidagi maqola [4] muhim ahamiyatga ega: unda Almaliq KMK rudasining tasdiqlangan tarkibi (Cu - 0,362 %, Mo - 0,00401 %, Au - 0,537 g/t, Ag - 2,424 g/t) keltirilgan, bu ma'lumotlar ushbu maqolaning 7-bo'limidagi qovushqoqlik hisob-kitoblari uchun boshlang'ich qiymat sifatida ishlatilgan.

Xalqaro adabiyot. Gidrotransport quvurlaridagi abraziv eroziyaning zamonaviy tahlili Wang va boshqalarning ishida [5] eksperiment va CFD modellashtirish uyg'unligida berilgan: tezlik, zarra o'lchami, massa sarfi va shakl omillarining eroziya intensivligiga ta'siri miqdoriy tarzda ko'rsatilgan. Bu natija ushbu maqoladagi yemirilish tezligi bog'lanishining (3-bo'lim) zamonaviy tasdig'idir. Kritik cho'kish tezligi nazariyasi Durand va Condolios [6] tomonidan ishlab chiqilgan klassik modelga asoslanadi. Magnit maydonining masofa bo'yicha eksponensial so'nish qonuni Svoboda [7] tomonidan tizimlashtirilgan klassik magnetostatika asosida qo'llanilgan, magnit ajratish jarayonining muhandislik hisob-kitob usullari esa Pelevin [8] darsligiga tayanadi.

Statsionar magnitli ushlagichlar texnologiyasining sanoat samaradorligi bo'yicha eng dolzarb va ishonchli ma'lumot maxsus sanoat hisobotida [9] keltirilgan: sanoat sharoitida qo'llanilgan statsionar magnitli tizimlar yanchuvchi tanalar parchalarining 80 % dan ortig'ini

olib tashlashi, uskunalar resursini 250 % ga oshirishi va gidrosiklon xizmat muddatini 2,5 barobar uzaytirishi qayd etilgan. Ushbu raqamlar maqolaning 5-bo'limidagi xizmat muddati nazariyasi uchun asosiy miqdoriy tayanch nuqta bo'lib xizmat qiladi.

RESEARCH OBJECT AND METHODOLOGY (TADQIQOT OB'EKTI VA METODOLOGIYA).

Tadqiqot ob'ekti AGMK Mis-molibden boyitish fabrikasi (MOF-3) ning yanchish-gidrotransport konturi: МШЦ-7300×13000 sharli tegirmon (12 dona, har biri ≈730 t/soat unumdorlik bilan), zumpf (pulpa yig'gich, zichlik 55 %), Warman 450 turkumidagi shlam nasosi va CAVEX 12×500CVX10 gidrosiklon batareyasi (12 dona). Metodologiya uch bosqichdan iborat: (1) uskunalarning rasmiy texnik pasportlaridagi geometrik va texnologik parametrlarni tahlil qilish orqali yemirilish mexanizmini aniqlash; (2) klassik magnetostatika (Svoboda, 2004) va muhandislik hisob-kitob usullari (Pelevin, 2018) asosida magnitli ushlagichning tortish kuchini hisoblash; (3) sanoat benchmark ma'lumotlari [9] asosida xizmat muddati o'sishini baholash.

Tegirmonning bo'shatish qismida elak teshigi 10×40 mm o'lchamli cho'ziq tirqish shaklida bo'lib, bu geometriya tor tomoni (10 mm) bo'yicha kichik bo'lsa-da, uzun tomoni (40 mm gacha) bo'yicha yo'nalgan cho'ziq parchalarning erkin o'tib ketishiga imkon beradi. Shu sababli loyihaviy nishon sifatida 1-30 mm oralig'idagi butun parcha o'lchamlari qabul qilingan.

ABRASIVE WEAR OF STEEL BALL FRAGMENTS IN THE WARMAN 450 PUMP AND CAVEX HYDROCYCLONE (PO'LAT SHAR PARCHALARINING WARMAN 450 NASOSI VA CAVEX GIDROSIKLONIDA ABRAZIV TA'SIRI)

Butaradan o'tib ketgan po'lat shar parchalari pulpa oqimi bilan birga ikkita asosiy gidravlik uskunaga tushadi, shlam nasosi va gidrosiklon. Har ikkala uskunaning texnik pasportidagi geometrik o'lchamlarini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, parchaning aksariyat o'lchamlari (50 mm gacha) uskunaning eng tor o'tkazish kesimidan ham ERKIN o'tib ketadi. Ya'ni ular uskunani tiqilish orqali emas, balki doimiy ishqalanish orqali, sekin-asta, yemiradi. Bu - muammoning aynan nima uchun uzoq vaqt sezilmay qolishining texnik sababidir.

Warman 450 nasosi. Nasos pasportiga ko'ra ishchi g'ildirak 1457 mm, aylanish tezligi 378 ayl/min, chiqish diametri 457 mm, ish qismining futerovkasi - Elastomer R55 (rezina asosidagi elastomer), eng tor o'tkazish kesimi (min. o'tkazish o'lchami) - 177,8 mm. Bu qiymat 50 mm gacha bo'lgan har qanday shar parchasidan sezilarli darajada katta, ya'ni parcha nasos ichida hech qachon tiqilib qolmaydi u ishchi g'ildirak va korpus bo'ylab erkin harakatlanadi. Muammo aynan shu yerda: yumshoq rezina futerovka yuzasida o'tkir qirrali qattiq po'lat parcha siljib harakatlanganda, bu mexanika nuqtai nazaridan kesuvchi yemirilish mexanizmini keltirib chiqaradi, bu esa oddiy zarrachalar hosil qiladigan abraziv (ishqalanish) yemirilishidan ancha tezroq va chuqurroq kechadi. Bundan tashqari, rezina futerovkaning chetki (periferik) aylanish tezligi hisob-kitoblarga ko'ra 28,84 m/s ni tashkil etadi. Bu qiymat Warman qo'llanmasida ko'rsatilgan rezina uchun ruxsat etilgan chegara (27,43 m/s, ya'ni 5400 fut/min) dan 5,1 % yuqori. Demak, hatto po'lat parchalar mavjud bo'lmasa ham, nasos o'zining nominal tezligida allaqachon rezina futerovkaning chegaraviy rejimida ishlaydi. Po'lat parchalarning qo'shimcha kesuvchi ta'siri bu rejimni yanada og'irlashtiradi.

CAVEX 500CVX10 gidrosiklon. Gidrosiklon pasportiga ko'ra kirish kanali diametri 160 mm, sliv (yuqori chiqish) diametri 185 mm, peskovaya nasadka (apex, pastki chiqish)

diametri 114 mm; futerovka - R55 rezina va Linatex (6/12 mm qalinlik). Bu yerda ham eng tor o'tkazish kesimi (114 mm) 50 mm gacha bo'lgan parchadan ancha katta parcha erkin o'tadi. Lekin gidrosiklonning o'ziga xos xavfi shundaki, kirish kanali (160 mm) butun uskunadagi eng tor va shu bilan birga eng yuqori tezlikli nuqta hisoblanadi (tangensial kirish natijasida markazdan qochma tezlanish maksimal), demak aynan shu nuqtada abraziv (va po'lat parcha ishtirokida kesuvchi) yemirilish eng intensiv kechadi. Bu gidrosiklon futerovkasining amaliyotda nima uchun tez-tez almashtirilishini tushuntiradi.

1-jadval. AGMK MOF-3 gidrotransport tizimidagi asosiy yemirilish tugunlari (pasporti ma'lumotlari asosida).

Uskuna	Eng tor o'tkazish kesimi, mm	Futerovka materiali	Yemirilish mexanizmi
Warman 450 nasosi	177,8	Elastomer R55 (rezina)	Kesuvchi yemirilish (rezina + o'tkir po'lat qirra); futerovka tezligi (28,84 m/s) allaqachon chegaradan (27,43 m/s) yuqori
CAVEX 500CVX10 gidrosiklon - kirish kanali	160	R55 rezina	Eng yuqori tangensial tezlik nuqtasi abraziv+kesuvchi yemirilish maksimal
CAVEX 500CVX10 gidrosiklon - apex	114	Linatex (6/12 mm)	Konsentrlangan qattiq oqim (quyulma) doimiy ishqalanish yemirilishi
МШЦ-7300×13000 butarasi	10×40 (tirqish)	Po'lat elak	40 mm gacha cho'ziq parchalar tirqishdan erkin o'tadi birlamchi himoya yetarli emas

THEORY OF EQUIPMENT SERVICE LIFE EXTENSION (USKUNALAR XIZMAT MUDDATINI OSHIRISH NAZARIYASI)

AGMK'ning rasmiy, imzolangan ТМЦ (ehtiyot qism sarfi) hisobotiga ko'ra [10], Warman 450 nasosining pulpa bilan bevosita aloqada bo'ladigan uchta asosiy qismi Футеровка передняя, Футеровка задня va Рабочее колесо (проточная qism) har uchalasi ham aniq 4500 soat xizmat muddatiga ega; eng qisqa umr ko'radigan qism сальник zichlagich o'ramasi 2000-2500 soat. Himoyalangan qismlari (podshipnik, mufta) esa 5000-8000 soat oralig'ida xizmat qiladi. Muhimi, hisobotning "Примечание" ustunida aynan shu nasos loyihaning o'z zumpf keyin gidrosiklon konturiga МШЦ 7,3×13 tegirmonlaridan CAVEX 500CVX10 gidrosiklonlariga pulpa uzatishga xizmat qilishi alohida tasdiqlangan. Demak, keltirilgan 4500 soatlik ko'rsatkich taxminiy baholash emas, balki aynan tekshirilayotgan

uskunaning o'zi uchun zavod tomonidan hujjatlashtirilgan aniq raqamdir. Ushbu 4500 soatlik bazaviy ko'rsatkichni sanoat benchmark darajasiga (quyida) yaqinlashtirish mazkur ishning amaliy maqsadi hisoblanadi.

Bu maqsadning miqdoriy asosini sanoatda sinovdan o'tgan statsionar magnitli ushlagich texnologiyasining natijalari [9] tashkil etadi: tramp po'lat 80 % dan ortiq darajada olib tashlanganda, gidravlik uskunalar resursi 250 % ga oshadi, gidrosiklon xizmat muddati esa 2,5 barobar uzayadi. Bu reklama ko'rsatkichi emas, balki sanoat sharoitida o'lchangan natija bo'lib, ushbu maqoladagi konstruksiyaga (4-bo'lim, 6-bo'lim) to'g'ridan-to'g'ri tegishlidir: agar magnitli ushlagich tegirmon chiqishida (butara ichida) po'lat parchalarning katta qismini ushlab qolsa, nasos va gidrosiklonga tushadigan zararli zarralar oqimi shunga mos ravishda kamayadi, demak kesuvchi yemirilish tezligi ham pasayadi.

Xizmat muddatini oshirishning uch mexanizmi ajratiladi:

• To'g'ridan-to'g'ri mexanizm kesuvchi yemirilishning yo'qolishi: magnit ushlagan parcha nasos va gidrosiklonga umuman yetib bormaydi, demak eng agressiv yemirilish turi (o'tkir qirra + yumshoq futerovka) manbada bartaraf etiladi.

• Bilvosita mexanizm nominal rejimga qaytish: futerovka tezligi chegarasi (27,43 m/s) allaqachon deyarli yetib borilgan (4.1-bo'lim); tramp metall yo'qligida futerovka faqat "toza" abraziv (ruda zarrachalari) bilan ishlaydi, bu chegaraga nisbatan ancha xavfsizroq rejim.

• Kuzatuv mexanizmi bashoratli texnik xizmat: ushlangan parchalar hajmi va ularning o'lcham taqsimoti vaqt bo'yicha kuzatilsa (ushlangan metall qutisi muntazam tortilsa), bu tegirmondagi shar zaryadi holatining bilvosita ko'rsatkichiga aylanadi futerovka va shar zaryadini almashtirish jadvalini reaktiv emas, bashoratli (prediktiv) tarzda rejalashtirish imkonini beradi.

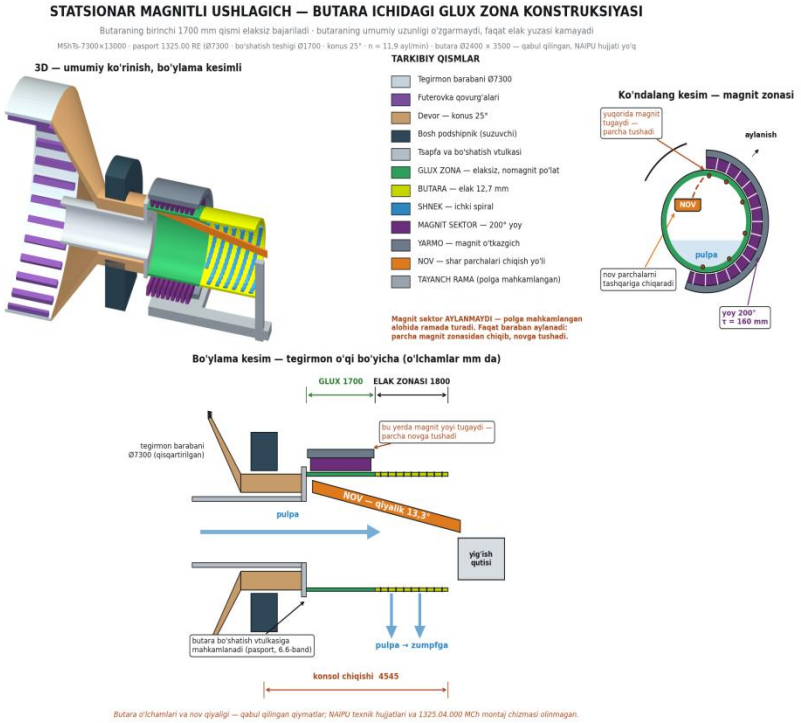
Uchinchi mexanizm bo'yicha original taklif: Elxan (MOF-3 muhandisi) bilan bo'lgan ichki muhokamada aytilgan g'oyaga tayanib "shar zaryadi va mahsulot yiriklashuvini sensorlar orqali doimiy raqamli nazorat qilish" magnitli ushlagichning yig'ish qutisiga oddiy tortish datchigi (load cell) o'rnatish taklif etiladi. Bu, qo'shimcha investitsiyasiz, mavjud konstruksiyaning tabiiy davomi sifatida, tegirmon operatorlariga ushlangan po'lat massasining vaqt bo'yicha o'zgarish tendensiyasini (trend) real vaqtda ko'rsatadi: keskin o'sish shar zaryadi yangilanishi yoki futerovka yemirilishi signalini beradi, bu esa texnik xizmat jadvalini reaktiv ta'mirlashdan bashoratli ta'mirlashga o'tkazishga xizmat qiladi.

Halollik yuzasidan shuni alohida ta'kidlash lozim: yuqoridagi 250 % va 2,5 barobar ko'rsatkichlar ishlab chiqaruvchilar tomonidan boshqa sanoat ob'ektlarida o'lchangan natijalar bo'lib, ular MOF-3 sharoitiga to'g'ridan-to'g'ri ekstrapoliyatsiya sifatida emas, balki reallikda erishish mumkin bo'lgan diapazon sifatida keltirilmoqda. MOF-3 ning o'ziga xos aniq raqamini olish uchun statsionar magnitli ushlagich amalda o'rnatilgandan so'ng, ushlangan metall miqdori va uskunalar orasidagi vaqt oralig'ini kamida 6-12 oy davomida bevosita kuzatish talab etiladi.

DESIGN OF THE STATIONARY MAGNETIC TRAP AND MAGNETIC FORCE CALCULATION (STATSIONAR MAGNITLI USHLAGICH KONSTRUKSIYASI VA TORTISH KUCHI HISOBI)

Taklif etilgan konstruksiyada doimiy magnit sektori (τ = 160 mm qutb qadami, 200° yoy) tegirmon butarasining boshlang'ich, elaksiz ("ko'r") 1700 mm li qismi atrofida, alohida, aylanmaydigan ramaga o'rnatiladi. Faqat baraban aylanadi; po'lat parcha magnit zonasidan

chiqqach, tortish kuchi yo'qolib, maxsus nov orqali chetga chiqarib yuboriladi. Konstruksiyaning umumiy ko'rinishi 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Statsionar magnitli ushlagichning konstruktiv sxemasi (magnit zonasi butara ichidagi ko'r qismda).

Magnitli ushlagichning asosiy loyihaviy sharti magnit tortish kuchining hajmiy zichligi aylanuvchi butara devoridagi parchani ajratishga intiluvchi (og'irlik va markazdan qochma kuchlar natijasidagi) kuchdan katta bo'lishi kerak. Bu shart uchta izchil formula orqali ifodalanadi.

TALAB — ajratuvchi kuch

(shuningdek: uzuvchi kuch) · po'lat parchani magnitdan yulib olishga harakat qiluvchi kuch

Aylanuvchi butara devorida po'lat parchaga og'irlik va markazdan qochma kuch qarama-qarshi yo'nalishda ta'sir qiladi. Bir birlik hajmga to'g'ri keladigan natijaviy («ajratuvchi») kuch:

$$f_{\text{отр}} = (\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{п}})(g - \omega^2 R) \qquad (1)$$

bu yerda:

$\rho_{\text{ш}}$	—	po'lat sharning zichligi, 7800	kg/m³
$\rho_{\text{п}}$	—	pulpaning zichligi (75% qattiq)	kg/m³
g	—	erkin tushish tezlanishi, 9,81	m/s²
ω	—	butaraning burchak tezligi	rad/s
R	—	butara radiusi, 1,2	m

Manba: Magnit_Trunnion_30mm.pdf (D-10, TALAB bosqichi); ρ_n=1902 kg/m³ — claude/XOTIRA.md, D-23/O-39.

$$f_{\text{отр}} = (7800 - 1902)\cdot(9{,}81 - 1{,}86) \approx 46{,}9\ \text{kN/m}^3$$

Bu son — HAR QANDAY parcha o'lchami uchun BIR XIL (hajm birligiga nisbatan): magnit shu kuchdan katta tortishni ta'minlashi shart.

(1)-formuladagi f_{otp} "ajratuvchi kuch" - parchani magnitdan yulib olishga harakat qiluvchi, faqat pulpa va po'lat zichligiga hamda butaraning aylanish tezligiga bog'liq bo'lgan, o'lchamdan mustaqil kattalik. AGMK MOF-3 uchun (ρ_p = 1902 kg/m³ pulpa zichligi bilan) bu qiymat 46,9 kN/m³ ni tashkil etadi bu magnit har qanday o'lchamdagi parcha uchun yengib chiqishi shart bo'lgan "talab" hisoblanadi.

QONUN — magnit kuchining hajmiy zichligi

(shuningdek: magnit tortish qonuni) · masofa ortishi bilan eksponensial so'nadi

Doimiy magnit yuzasidan chuqurlashgan sari maydon eksponensial so'nadi (Svoboda, 2004). Shundan magnit tortish kuchining hajmiy zichligi:

$$f_{\text{м}}(x) = a\,\mu_0\,\varkappa_{\text{эф}}\,\frac{2\pi}{\tau}\,H_0^2\,e^{-\frac{4\pi x}{\tau}} \qquad (2)$$

bu yerda:

a	—	o'lcham koeffitsienti (1,1 / 1,5 / 2,0)	—
μ_0	—	vakuum magnit doimiysi, $4\pi\cdot10^{-7}$	T·m/A
$\varkappa_{\text{эф}}$	—	po'latning samarali qabul qiluvchanligi, 3	—
τ	—	magnit qutb qadami, 0,16	m
H_0	—	qutb yuzasidagi maydon kuchlanganligi	A/m
x	—	yuzadan zarra markazigacha masofa, 0,05+d/2	m

Manba: Magnit_Trunnion_30mm.pdf (QONUN bosqichi); B0=0,245 T, H0=B0/μ0≈194 961 A/m — D-22/X-31, claude/XOTIRA.md.

(2)-formula magnit tortish kuchining masofa bilan qanday so'nishini tavsiflaydi, magnit yuzasidan uzoqlashgan sari (parcha kattalashgan sari, chunki uning markazi devordan uzoqlashadi) kuch eksponensial kamayadi. B_0 = 0,245 T (2450 Gs) sanoatda ishlab chiqarilayotgan arzon toifadagi NdFeB mahsulotlarining odatiy diapazoniga (≈2400 Gs) deyarli teng, ya'ni ortiqcha talabchan emas, sanoat me'yorida qabul qilingan qiymat.

ZAXIRA — xavfsizlik koeffitsienti

(shuningdek: ushlash marjasi) · magnit qanchalik "bemalol" ushlab turadi

Magnit ishonchli ushlab turishi uchun (2)-formuladagi kuch (1)-formuladagi kuchdan katta bo'lishi shart. Nisbat — zaxira koeffitsienti:

$$k = \frac{f_{\text{м}}(x)}{f_{\text{отр}}} \geq 1 \qquad (3)$$

bu yerda:

k	—	zaxira (xavfsizlik) koeffitsienti	—
$f_{\text{м}}$	—	(2)-formuladan, berilgan d uchun	kN/m³
$f_{\text{отр}}$	—	(1)-formuladan, 46,9	kN/m³

Manba: Magnit_Trunnion_30mm.pdf (ZAXIRA bosqichi), D-22/D-23.

Loyihaviy nishon — 1–30 mm oralig'idagi eng zaif nuqtalar:

d = 25 mm (a = 1,5 bosqichining chekkasi — eng zaif nuqta)
$f_{\text{м}} \approx 62{,}3$ kN/m³ $k \approx 1{,}33$

d = 30 mm (a = 2,0 bosqichi)
$f_{\text{м}} \approx 68{,}4$ kN/m³ $k \approx 1{,}46$

$d_{\max}(k=1) \approx 39{,}6$ mm — *butun 1–30 mm oralig'ida k ≥ 1,33: magnit har qanday nishon o'lchamini xavfsiz zaxira bilan ushlaydi.*

(3)-formula orqali topilgan zaxira koeffitsienti k - magnit "qanchalik bemalol" ushlab turishini ko'rsatadi. 1-30 mm oralig'idagi eng zaif nuqta (d = 25 mm, o'lcham koeffitsienti bosqichi almashinuvi tufayli) da ham k - 1,33 - ya'ni magnit talabdan 33 % ko'p kuch bilan

ushlaydi. d = 30 mm da k - 1,46 ga yetadi. Butun 1-30 mm oralig'ida k ≥ 1,33 saqlanishi konstruksiyaning yetarli xavfsizlik zaxirasiga ega ekanini tasdiqlaydi.

LOSS OF VALUABLE COMPONENTS THROUGH THE VISCOUS PULP FILM (QOVUSHQOQ PULPA PARDASI ORQALI QIMMATLI KOMPONENTLAR YO'QOTILISHI)

Magnit po'lat parchani pulpadan tortib chiqarayotganda, yon ta'sir sifatida quyidagi fizik hodisa yuzaga keladi: parcha yuzasi pulpa bilan namlangan bo'lib, u suyuqlikdan chiqayotganda yuzasida yupqa pulpa pardasi "yopishib qoladi" (entrainment). Bu bo'yash va qoplash texnologiyasida yaxshi tanilgan klassik hodisa bo'lib, suyuqlik qovushqoqligi va zarraning chiqish tezligiga bog'liq holda parda qalinligini belgilaydi. Ushbu pardada pulpaning o'zi bilan birga undagi mayda flotatsiya uchun mo'ljallangan qimmatli minerallar zarrachalari (oltin, mis, molibden birikmalari) ham parcha bilan birga olib chiqib ketiladi.

Mexanizmning miqdoriy bahosi (avvalgi hisob-kitoblarimizda AGMK'ning haqiqiy ruda tarkibi - Cu 0,362 %, Mo 0,00401 %, Au 0,537 g/t [4] asosida, klassik parda qalinligi qonuni bo'yicha olingan) shuni ko'rsatadiki, bitta 30 mm li parchada yo'qoladigan mis miqdori mikrogramm-milligramm darajasida (bir necha milligramm atrofida) bo'ladi. MOF-3ning kunlik 5000 tonna konsentrat chiqarish hajmi bilan solishtirilganda, bu miqdor statistik jihatdan sezilmaydigan darajada kichik davlat yo'qotish me'yoridan oshib ketish xavfi yo'q. Shu sababli ushbu maqolada mazkur hisob-kitobning to'liq formulasi va sonli keltirib chiqarilishi qaytarilmaydi (u alohida ilmiy hujjatda batafsil berilgan); bu yerda faqat mexanizmning o'zi va uni kamaytirish choralari muhokama qilinadi.

Shuni alohida ta'kidlash lozimki, ushbu yon ta'sirni faqat "yo'qotish" sifatida emas, balki qisman qaytariladigan ikkilamchi resurs sifatida ham ko'rish to'g'riroq bo'ladi. Birinchidan, magnit tomonidan ushlab qolingan po'lat parchalarining o'zi alohida to'planadigan, nisbatan toza temir-po'lat lomi bo'lib, uni metall qayta ishlash (eritish/legallashtirish) korxonalariga topshirish orqali qo'shimcha, mustaqil iqtisodiy foyda olish mumkin. Bu magnit ushlagichning asosiy vazifasidan (uskunani himoya qilish) tashqari ikkinchi foyda manbaidir. Ikkinchidan, quyida keltirilgan yuvish (spray-rinse) chorasi parchaga yopishgan pulpa pardasidagi qimmatli mineral zarrachalarni (Au, Cu, Mo) parchadan ajratib, ularni yo'qotilgan hisoblamasdan qayta asosiy pulpa oqimiga qaytaradi, ya'ni ular texnologik jarayondan butunlay chetlashtirilmaydi.

Yo'qotishni yanada minimallashtirish va yuqoridagi ikki resursni ajratib olish uchun quyidagi amaliy choralar taklif etiladi:

• Yuvish zonasi: yig'ish novi ustida ushlangan parchaga qisqa muddatli suv purkash (spray-rinse) qo'llash. Bu parchaga yopishgan pulpa pardasidagi mineral zarralarni ajratib, ularni qayta pulpa oqimiga qaytaradi, parcha esa allaqachon novga tushib bo'lgan holda toza chiqadi.

• Tomchilash (drenaj) vaqti: yig'ish qutisi og'zida parchaning bir necha soniya davomida tik holda tomchilashi uchun qiyalik va vaqt zahirasi ta'minlash, bu qo'shimcha energiyasiz, faqat og'irlik kuchi hisobiga parda qalinligini kamaytiradi.

• Yig'ish qutisini muntazam bo'shatish: parchalar quti ichida uzoq turib qolmasligi kerak. Namlangan yuzadan asta-sekin bug'lanish yoki qayta ivishi hisobiga tarkibidagi qoldiq minerallarning aniq balansini nazorat qilish qiyinlashadi.

• Magnit kuchini optimal darajada tanlash (6-bo'lim, k=1,33-1,46): haddan tashqari kuchli magnit mayda, hali ozroq foydali komponent tashiydigan zarrachalarni ham tortib olishi mumkin; loyihaviy zaxira atayin "minimal yetarli" darajada talab qilingandan atigi 33-46 % ortiq tanlangan.

• Po'lat parchalarni qayta ishlashga yo'naltirish: yuvilgan va tozalangan po'lat parchalari yig'ish qutisida alohida saqlanib, davriy ravishda metall lom sifatida qayta eritish (legallashtirish) korxonalariga topshirilishi mumkin. Bu asbob-uskunani himoya qilishdan tashqari qo'shimcha, mustaqil iqtisodiy samara beradi.

Xulosa. O'tkazilgan tahlil AGMK MOF-3 gidrotransport tizimidagi abraziv yemirilishning bir muhim manbasi tegirmondan chiqib ketuvchi po'lat shar parchalari ekanini pasport ma'lumotlari asosida tasdiqladi: bu parchalar Warman 450 nasosi (177,8 mm) va CAVEX gidrosiklonining (114 mm apex, 160 mm kirish) eng tor o'tkazish kesimlaridan ham erkin o'tib, uskunalarni tiqilish orqali emas, balki doimiy kesuvchi ishqalanish orqali yemiradi.

Taklif etilgan statsionar magnitli ushlagich (B_0 = 0,245 T, $k \geq 1{,}33$) mavjud butarani saqlab qolgan holda po'lat parchalarni manbada ushlab qolishga qodir. Zavodning imzolangan ТМЦ hisobotida [10] tasdiqlangan 4500 soatlik bazaviy xizmat muddati (Футеровка va Рабочее колесо) hozirgi kesuvchi yemirilish rejimining aniq, hujjatlashtirilgan boshlang'ich nuqtasi hisoblanadi. Sanoat benchmark ma'lumotlari [9] asosida (tramp metall 80 % dan ortiq olib tashlanganda gidravlik uskunalar resursi 250 % ga oshishi) bu yechim aynan shu 4500 soatlik bazani sezilarli darajada uzaytirishga imkon berishi kutilmoqda. Magnit tortish jarayonidagi yon ta'sir qovushqoq parda orqali qimmatli komponentlar yo'qotilishi, mexanizm sifatida real, ammo miqdor jihatdan ahamiyatsiz ekani aniqlandi; taklif etilgan yuvish va drenaj choralari bu zarrachalarni yo'qotilgan deb hisoblamasdan asosiy pulpa oqimiga qaytaradi. Bundan tashqari, magnit tomonidan ushlab qolingan po'lat parchalarining o'zi ham qayta ishlash uchun yaroqli metall lom sifatida qo'shimcha iqtisodiy qiymat tashiydi.

Ishning ilmiy yangiligi o'lcham bo'yicha (elak) va magnit xossasi bo'yicha ajratishni bitta aylanuvchi barabanda birlashtirish g'oyasida. Amaliy ahamiyati gidravlik uskunalar xizmat muddatining oshishi, ta'mirlash chastotasining kamayishi va shu orqali ishlab chiqarish uzluksizligining yaxshilanishida, shuningdek ushlangan po'lat lomining qayta ishlanishi va yo'qolayotgan mineral zarralarning asosiy oqimga qaytarilishi orqali qo'shimcha iqtisodiy samara olinishida. Keyingi tadqiqot yo'nalishlari sifatida: magnit konstruksiyasining o'z magnit sxema (FEA) hisobi, zavoddan olinishi zarur bo'lgan bir qator geometrik parametrlar (butara diametri, yig'ish novi geometriyasi) va amalda o'rnatilgandan so'ng kamida 6-12 oylik kuzatuv natijalari asosida xizmat muddati o'sishining aniq miqdoriy tasdig'i ko'rsatilishi mumkin.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Shakarov T.I., Xasanov A.S. Foydali qazilmalarni boyitish va qayta ishlash asoslari: Oliy o'quv yurtlari uchun darslik. - Toshkent: "Muharrir" nashriyoti, 2025. - 652 b.
2. AGMK MOF-3 gidrotransport tizimidagi abraziv yemirilish: sabablari va futerovka tanlovi. - Ichki ilmiy-texnik maqola.
3. Marasulov M.S. Maydalash sifati va gidrotransport tizimlarining abraziv yemirilishi: boyitish fabrikalari misolida texnologik-iqtisodiy tahlil. Ichki ilmiy-texnik maqola.

4. Amaliyskiy GMK reagent rejimi va ruda tarkibi tahlili // Молодой учёный. — 2019. № 286.
5. Wang D., Ju F., Xu J., Xiao M., Ning P., Wang T. Effect of particle properties on erosion in slurry transport pipeline: Velocity, size, mass flow rate and shape // Minerals Engineering. 2025. Art. 109550. DOI: 10.1016/j.mineng.2025.109550.
6. Durand R., Condolios E. Etude experimentale du refoulement des matériaux en conduite. Deuxieme Journée de l'Hydraulique, 1952.
7. Svoboda J. Magnetic Techniques for the Treatment of Materials. Kluwer Academic Publishers, 2004.
8. Пелевин А.Е. Магнитные и электрические методы обогащения: учебник. Екатеринбург, 2018.
9. Statsionar magnitli ushlagichlarning konchilik korxonalaridagi sanoat samaradorligi bo'yicha hisobot // North American Mining Magazine. 2026-05-15.
10. AGMK MOF-3 TMЦ (ehtiyot qism sarfi) bo'yicha ichki hisobot: Warman 450 MCR450 nasosi va MШЦ-7,3×13 tegirmoni futerovkasi xizmat muddatlari. Zavodning imzolangan ichki hujjati, 2026.