



**BOYSUN M25 LOYIHASI MISOLIDA OLTINGUGURT YUTUVCHI
ADSORBENTLAR CHIQINDISIDAN AYLANMA IQTISODIYOT TAMOYILI
ASOSIDA RUX BIRIKMALARINI OLISH**

Xaitmuratova Ozoda Panji qizi

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti 1-bosqich magistranti

Ilmiy rahbar: Eshqurbonov Furqat Bozorovich, kimyo fanlari doktori, professor

ANNOTATSIYA

Tezisdagi Boysun tumanidagi “Mustaqillikning 25 yilligi” M25 gaz loyihasining yuqori oltingugurtli xomashyo bazasi sharoitida oltingugurtli tutuvchi rux oksidi asosidagi adsorbentlar xizmat muddati tugagach, ularni chiqindi emas, ruxga boy ikkilamchi xomashyo sifatida boshqarish modeli asoslandi. Ochiq loyiha ma'lumotlariga ko'ra, M25 qatlam gazida vodorod sulfidning o'rtacha mol ulushi 5,5 foiz, karbonat angidrid miqdori 8,3 foiz bo'lib, Boysun gazni qayta ishlash zavodining loyiha quvvati yiliga 5 milliard normal kub metrni tashkil etadi. Rasmiy manbalarda ruxli adsorbentning aniq markasi, sarfi va hosil bo'ladigan chiqindi hajmi berilmaganligi sababli ishda M25 uchun istiqbolli texnologik stsenariy ishlab chiqildi. Taklif etilgan yondashuv chiqindini pasportlash, qoldiq ZnO ni yumshoq kislotali tanlab eritish, ZnS ni temir uch valentli sulfat bilan oksidlovchi eritish, eritmani aralashmalardan tozalash, rux karbonatini cho'ktirish va kalsinatsiya orqali ZnO olish bosqichlarini qamrab oladi. Bir tonna chiqindi adsorbentda 45 foiz rux mavjud va ruxning 90 foizi ajratiladi deb olingan hisobiy stsenariyda 405 kilogramm ruxni eritmaga o'tkazish hamda taxminan 504 kilogramm ZnO ekvivalentida mahsulot olish mumkin. Texnologiyaning amaliy qiymati poligonga yo'naltiriladigan xavfli chiqindi massasini kamaytirish, birlamchi rux xomashyosiga talabni qisqartirish, oltingugurtli fazalarni nazorat ostida ajratish va adsorbentlar uchun yopiq moddiy aylanishni shakllantirish bilan belgilanadi.

Kalit so'zlar: Boysun M25, vodorod sulfid, rux oksidi, rux sulfidi, chiqindi adsorbent, gidrometallurgiya, oksidlovchi tanlab eritish, aylanma iqtisodiyot, ikkilamchi rux, resurs samaradorligi.

KIRISH

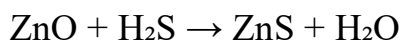
Tabiiy gaz tarkibidagi vodorod sulfid inson salomatligi, texnologik uskunalarda va mahsulot sifatida uchun bir vaqtning o'zida xavf tug'diradi. H₂S metall yuzalarida sulfidli korroziyani tezlashtiradi, katalizatorlarning faol markazlarini zaharlaydi, gazning tovar



talablariga mos kelishini qiyinlashtiradi va nazoratsiz ajralganda zaharlanish xavfini yuzaga keltiradi. Boysun M25 loyihasining o'ziga xosligi xom gaz tarkibidagi nordon komponentlar ulushining yuqoriligidir. Surhan Gas Chemical Operating Company e'lon qilgan texnologik ma'lumotda qatlam gazining o'rtacha tarkibi 83,85 foiz metan, 8,3 foiz CO₂ va 5,5 foiz H₂S dan iborat ekani ko'rsatilgan [1]. Loyiha bo'yicha yiliga 5 milliard normal kub metr yuqori oltingugurtli gazni qayta ishlash, 4,4 milliard kub metrgacha tovar gaz va 460 ming tonnagacha donador yoki bo'lak oltingugurt olish rejalashtirilgan [2]. Ushbu ko'rsatkichlar oltingugurt boshqarish M25 uchun yordamchi emas, asosiy texnologik vazifa ekanini ko'rsatadi.

Loyiha hujjatlarida nordon gazlarni ajratish uchun Sulfinol jarayonlari va oltingugurt qayta tiklash bloklari nazarda tutilgan [2]. Bunday majmualarda asosiy kislota gazini ajratish jarayonidan keyin ayrim oqimlarni chuqur tozalash, yoqilg'i gazini himoyalash yoki katalitik bloklar oldida qoldiq H₂S ni juda past darajaga tushirish uchun metall oksidli himoya qatlamlaridan foydalanish mumkin. Rux oksidi bu maqsadda termodinamik jihatdan qulay bo'lib, vodorod sulfid bilan qaytmas kimyoviy reaksiyaga kirishadi. Ochiq M25 hujjatlarida aynan ZnO adsorbent qo'llanishi va uning sarfi tasdiqlanmagan. Shuning uchun mazkur tezis amaldagi chiqindi miqdori to'g'risidagi hisobot emas, M25ning yuqori oltingugurtli texnologik muhiti uchun ishlab chiqilgan resurs aylanish modelidir. Loyihani real joriy etishdan oldin operatorning texnologik reglamenti, adsorbent pasporti va chiqindi inventarizatsiyasi bilan model albatta aniqlashtirilishi kerak.

Rux oksidi asosidagi adsorbentning faoliyati quyidagi reaksiya bilan ifodalanadi.



Sulfidlanish davomida granulalarning tashqi qismida ZnS mahsulot qatlami shakllanadi, g'ovaklarning bir qismi berkiladi va H₂S ning reaksiyaga kirishmagan ZnO yadrosiga diffuziyasi sekinlashadi. Sof ZnO ning nazariy oltingugurt sig'imi molyar massalar nisbati bo'yicha 39,4 foizni tashkil etadi. Amaliy sig'im tashuvchi oksidlar, bog'lovchi moddalar, namlik, gaz tezligi, harorat va diffuziya cheklovlari sababli bundan past bo'ladi. Xizmat muddati tugagan adsorbent tarkibida ZnS bilan birga qoldiq ZnO, Al₂O₃ yoki SiO₂ tashuvchisi, temir, mis, qo'rg'oshin, kadmiy izlari, mexanik chang va namlik bo'lishi mumkin. Shu sababli uni oddiy qattiq chiqindi sifatida poligonga yuborish rux resursini yo'qotadi va sulfidli fazalarning uzoq muddatli ekologik xavfini saqlab qoladi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Tadqiqotda tizimli tahlil, stexiometrik hisob, fazaviy o'zgarishlarni kimyoviy reaksiyalar asosida baholash, gidrometallurgik usullarni qiyoslash va aylanma iqtisodiyotning yopiq moddiy oqim tamoyili qo'llandi. M25ning xom gaz tarkibi va loyiha quvvati rasmiy loyiha



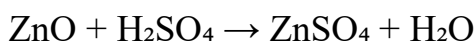
materiallaridan olindi [1-3]. Ruxli adsorbentning sulfidlanish qonuniyatlari, kislotali eritish va ishlatilgan sorbentlardan ruxni qayta olish bo'yicha ilmiy ishlar tahlil qilindi [6-10]. Mahalliy sanoatga moslashtirishda Olmaliq rux ishlab chiqarishining rux keklarini gidrometallurgik qayta ishlash bo'yicha o'zbekistonlik olimlar natijalari hisobga olindi [11-13].

Taklif etilayotgan texnologiya uchun birlamchi shart adsorbent chiqindisini boshqa katalizator, filtr material, moyli mato va qurilish chiqindilaridan alohida yig'ishdir. Har bir partiya kelib chiqish bloki, ishlash muddati, gaz tarkibi, adsorbent markasi, taxminiy massa va xavfli aralashmalar bo'yicha pasportlanadi. Namuna olish granulalarning yuqori, o'rta va quyi qatlamlaridan amalga oshiriladi, chunki sulfidlanish darajasi qatlam bo'ylab bir xil bo'lmaydi. Laboratoriya tavsifi XRF yoki ICP usulida umumiy element tarkibini, XRD usulida ZnO, ZnS, ZnAl₂O₄ va boshqa fazalarni, SEM-EDS orqali zarracha yuzasi va elementlar taqsimotini, termik tahlil orqali namlik va parchalanish xususiyatlarini aniqlashni qamrab olishi kerak. Ruxning umumiy miqdori yuqori bo'lsa ham, uning qaysi mineral fazada joylashgani tanlab eritish sharoitini belgilovchi asosiy omildir.

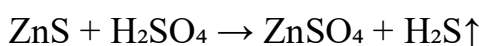
Ruxni ajratish darajasi $\eta = m_1/m_0 \times 100$ nisbatida hisoblanadi. Bu yerda m_0 xomashyodagi rux massasi, m_1 eritmaga o'tgan rux massasi. Jarayonning aylanuvchanligi faqat rux ajralishi bilan emas, qayta ishlatilgan suv ulushi, regeneratsiya qilingan oksidlovchi miqdori, poligonga chiqarilgan qoldiq massasi va olingan ZnO ning qayta adsorbent ishlab chiqarishga yaroqliligi bilan baholanadi. Amaliy pilot sinov uchun rux ajralishini kamida 90 foizga yetkazish, suvning asosiy qismini texnologiyaga qaytarish, gaz fazasiga nazoratsiz H₂S chiqishini bartaraf etish va qoldiqning yuviluvchan toksikligini me'yoriy sinovlar orqali tasdiqlash maqsad ko'rsatkichlari sifatida qabul qilinishi mumkin.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Chiqindi adsorbentdagi ruxning ikki asosiy shakli turli kimyoviy yondashuvni talab qiladi. Qoldiq ZnO suyultirilgan sulfat kislotali eritishda tez erib, rux sulfat eritmasini hosil qiladi.



ZnS ni oddiy sulfat kislota bilan eritish esa H₂S ajralishi bilan kechadi.



Bu yo'l apparat jihatdan sodda ko'rinsa ham, M25 singari H₂S xavfi yuqori obyekt uchun zaif yechimdir. Kislota lokal ravishda ortiqcha berilsa yoki reaktor germetikligi buzilsa, zaharli gaz ajralishi mumkin. Shuning uchun to'g'ridan-to'g'ri kislotali eritish faqat qoldiq ZnO ulushi yuqori bo'lgan fraksiyaga, past kislotalilikda, yopiq reaktor va gazni ishqoriy skrubberda tutish sharti bilan tatbiq etilishi lozim. ZnO/Al₂O₃ katalizatorini sulfat kislotali eritish bo'yicha tajribada 2 mol/l H₂SO₄, suyuqlik-qattiq modda nisbati 10:1 va xona haroratida ruxning 90

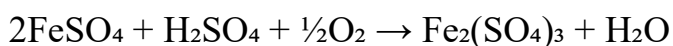


foizigacha eritilishi qayd etilgan, ammo 24 soatlik davomiylik talab qilingan [8]. Bu natija qoldiq oksid fazasini alohida bosqichda eritish mumkinligini ko'rsatadi, lekin ZnS ko'p bo'lgan chiqindiga bevosita ko'chirilmaydi.

Sulfid fazasi uchun xavfsizroq variant temir uch valentli sulfat ishtirokidagi oksidlovchi tanlab eritishdir.



Bu reaksiyada rux eritmaga o'tadi, oltingugurt elementar shaklda qattiq qoldiqda qoladi va H₂S gazini hosil qilish zarurati yo'qoladi. Fe²⁺ ionlari aeratsiya yordamida Fe³⁺ holatiga qaytarilib, oksidlovchi konturda takror ishlatilishi mumkin.



Mazkur sxema aylanma iqtisodiyotning ikki tamoyiliga mos keladi. Rux va oltingugurt chiqindidan mahsulot oqimiga qaytariladi, oksidlovchi reagent esa regeneratsiya qilinadi. Jarayonning cheklovi elementar oltingugurt zarracha sirtini qoplab, massa almashinuvini sekinlashtirishi va eritmada temirning to'planishidir. Buni granulalarni 0,1-0,5 millimetrgacha maydalash, 70-90 °C haroratda intensiv aralashtirish, qattiq faza miqdorini boshqarish va Fe³⁺/Fe²⁺ nisbatini onlayn nazorat qilish orqali kamaytirish mumkin. Maydalash yopiq uskuna va aspiratsiyada bajarilishi shart, chunki sulfidli chang ishchi zonaga tarqalmasligi kerak.

Termik oksidlash ZnS ni ZnO ga aylantirishi mumkin, biroq SO₂ gazi, yuqori energiya sarfi, kadmiy va qo'rg'oshinning gaz fazasiga o'tishi hamda granulalarning sinterlanishi bilan bog'liq. Quruq xlrlash usulida ishlatilgan oltingugurt tutgichlardan ruxning 96,8 foizini 475 °C da ajratish va 99,9 foiz metall rux olish mumkinligi ko'rsatilgan [9]. Natija yuqori bo'lsa-da, sof xlor bilan ishlash, korroziyaga chidamli apparatlar va gazni to'liq qayta aylantirish talabi M25 hududida alohida kichik quvvatli qayta ishlash liniyasi uchun xavfsizlik va kapital xarajatlarni keskin oshiradi. Shu sababli dastlabki pilot bosqichda ikki pog'onali gidrometallurgik yo'l ma'qulroq hisoblanadi.

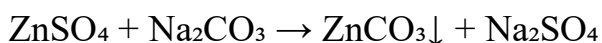
1-jadval. M25 uchun taklif etilayotgan ruxli adsorbent chiqindisi aylanishi

Bosqich	Asosiy operatsiya	Olinadigan oqim	Nazorat mezon
1	Alohida yig'ish va pasportlash	Bir xil tarkibli chiqindi partiyasi	Manba, massa va xavf sinfi aniqligi
2	Maydalash va fazaviy tahlil	Bir xil dispersli xomashyo	ZnO, ZnS va aralashmalar ulushi



3	Yumshoq kislotali eritish	ZnO dan ZnSO ₄ eritmasi	H ₂ S chiqmasligi va kislota sarfi
4	Fe ³⁺ bilan oksidlovchi eritish	ZnS dan ZnSO ₄ va S ⁰	Rux ajralishi, Fe ³⁺ regeneratsiyasi
5	Eritmani tozalash va cho'ktirish	ZnCO ₃ yoki Zn(OH) ₂	Fe, Cu, Cd, Pb qoldiq miqdori
6	Kalsinatsiya va mahsulot sinovi	Ikkilamchi ZnO	Tozalik, sirt maydoni, mustahkamlik
7	Suv va reagentni qaytarish	Yopiq texnologik kontur	Oqova va poligon qoldig'ining kamayishi

Oksidlovchi eritishdan olingan rux sulfat eritmasida temir, alyuminiy, mis va kadmiy bo'lishi mumkin. Fe²⁺ avval Fe³⁺ ga oksidlanadi, keyin pH nazoratida goetit yoki gidroksid ko'rinishida cho'ktiriladi. Mis va kadmiy rux kukuni bilan sementatsiya qilinadi. Eritma tozalangach, rux natriy karbonat yoki gidroksid yordamida cho'ktiriladi. Karbonatli yo'l quyidagi reaksiyalar bilan ifodalanadi.



Cho'kmani to'liq yuvish rux oksidida natriy sulfat qoldig'ini kamaytiradi. Kalsinatsiya harorati haddan tashqari oshirilsa, zarrachalar yiriklashadi va maxsus sirt maydoni kamayadi. Shu sababli olingan ZnO ni faqat kimyoviy tozalik bo'yicha baholash yetarli emas. H₂S bo'yicha dinamik sig'im, g'ovak hajmi, zarracha o'lchami, mexanik mustahkamlik va bosim yo'qotilishi yangi sanoat adsorbenti bilan bir xil sinov qurilmasida solishtirilishi kerak. Talabga javob bermagan ZnO adsorbentga qaytarilmaydi, balki rux tuzlari, keramika yoki boshqa texnik mahsulotlar ishlab chiqarishga yo'naltiriladi. Bu yondashuv sifatsiz materialni kritik gaz tozalash blokiga qaytarish xavfini bartaraf etadi.

Hisobiy material balansi resurs salohiyatini ko'rsatish uchun tuzildi. Bir tonna chiqindi adsorbentda umumiy rux 45 foiz deb olinsa, xomashyoda 450 kilogramm rux mavjud bo'ladi. Ajratish darajasi 90 foiz bo'lganda eritmaga 405 kilogramm rux o'tadi. ZnO tarkibidagi rux ulushi 65,38/81,38 bo'lgani uchun olinadigan mahsulot $405 \times 81,38/65,38 = 504$ kilogramm ZnO ekvivalentiga teng. Bu raqam M25ning real ishlab chiqarish ko'rsatkichi emas. U adsorbent partiyasining haqiqiy kimyoviy tahlili bilan qayta hisoblanishi kerak. Material tarkibida alyuminiy oksidi tashuvchisi ko'p, sulfidlanish darajasi past yoki rux ferrit kabi qiyin eriydigan fazada bo'lsa, mahsulot chiqishi kamayadi va reagent sarfi ortadi.



Aylanma iqtisodiyot nuqtayi nazaridan texnologiyaning samarasi uchta yopiq oqimda namoyon bo'ladi. Metall oqimida rux chiqindidan ikkilamchi ZnO yoki $ZnSO_4$ mahsulotiga o'tadi. Oltingugurt oqimida sulfidli oltingugurt elementar S^0 ko'rinishida ajratilib, loyiha oltingugurt mahsuloti oqimiga mosligi tekshiriladi. Suv va reagent oqimida filtratning bir qismi qaytariladi, Fe^{2+} esa Fe^{3+} ga regeneratsiya qilinadi. O'zbekistonning 2030-yilgacha "yashil" iqtisodiyotga o'tish dasturlarida sirkulyar iqtisodiyot amaliyotini sanoatga joriy etish va eko-sanoat parklarini rivojlantirish vazifalari belgilangan [4]. 2024-yilda Chiqindilarni boshqarish va aylanma iqtisodiyotni rivojlantirish agentligining tashkil etilishi chiqindini ikkilamchi resurs sifatida boshqarish uchun institutsional asosni kuchaytirdi [5]. M25da ruxli adsorbentlarni pasportlash va qayta ishlash konturini loyiha boshqaruviga erta kiritish keyinchalik chiqindi yig'ilib qolganidan so'ng qimmat yechim qidirishdan samaraliroqdir.

Jarayonning asosiy muvaffaqiyatsizlik nuqtalari aniq. Turli markadagi adsorbentlarni aralashtirish reagent sarfini boshqarib bo'lmaydigan holga keltiradi. Maydalashda sulfidli changning chiqishi xodimlar xavfsizligini buzadi. Kislotani tez qo'shish lokal H_2S ajralishiga olib keladi. Oksidlovchi bosqichda Fe^{3+} yetishmasa, ZnS qoldiqda qoladi, ortiqcha Fe^{3+} esa eritmani tozalash yukini oshiradi. Temirni cho'ktirishda pH keskin ko'tarilsa, rux birgalikda cho'kib yo'qotiladi. Kalsinatsiyada harorat oshsa, ZnO ning adsorbsiya faolligi pasayadi. Ushbu xatarlar avtomatik pH va oksidlanish-qaytarilish potentsiali nazorati, H_2S detektorlari, yopiq aspiratsiya, partiyaviy kuzatuv va laboratoriya sifat protokoli bilan boshqarilishi kerak.

XULOSA

Boysun M25 loyihasining yuqori oltingugurtli gaz tarkibi adsorbentlarni butun hayotiy sikl bo'yicha boshqarishni talab qiladi. ZnO asosidagi material ishlatilgan taqdirda, xizmat muddati tugagan adsorbent ZnS , qoldiq ZnO , tashuvchi oksidlar va aralashmalardan iborat ruxga boy ikkilamchi xomashyoga aylanadi. Eng asoslangan stsensariy chiqindini pasportlash, qoldiq ZnO ni yumshoq kislotali eritish, ZnS ni Fe^{3+} bilan H_2S chiqarmaydigan oksidlovchi eritish, eritmani tozalash va $ZnCO_3$ ni kalsinatsiya qilib ikkilamchi ZnO olishdan iborat. Hisobiy model bir tonna chiqindidan 504 kilogrammgacha ZnO ekvivalenti olish mumkinligini ko'rsatadi, ammo bu qiymat real namunaning kimyoviy va fazaviy tahlili bilan tasdiqlanishi shart. Amaliy joriy etishdan oldin M25 operatori adsorbentlar inventarizatsiyasini o'tkazishi va turli sulfidlanish darajasidagi sanoat namunalarda pilot sinov tashkil etishi zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Surhan Gas Chemical Operating Company. "Mustaqillikning 25 yilligi" konini o'zlashtirish va gaz-kimy o majmuasini qurish loyihasi texnologiyasi: taqdimot materiallari. - 25 b.



2. UzLITI Engineering. M-25 field development and construction of Boysun Gas Processing Plant: uzliti-en.com

3. Enter Engineering. Construction of Boysun gas processing plant “Mustaqillikning 25 yilligi” ent-en.com.

4. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 2-dekabrdagi PQ-436-son qarori. 2030-yilgacha “yashil” iqtisodiyotga o‘tish chora-tadbirlari // Qonunchilik ma’lumotlari milliy bazasi.

5. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 4-yanvardagi PF-5-son Farmoni. Chiqindilarni boshqarish tizimini takomillashtirish to‘g‘risida // Qonunchilik ma’lumotlari milliy bazasi.

6. Gkika D.A., Kyzas G.Z. Reusability of spent adsorbents for a circular materials economy in the sustainable chemical industry // RSC Sustainability. - 2026. - Vol. 4. - P. 1023-1056. - DOI: 10.1039/D5SU00802F.

7. Frilund C., Simell P., Kaisalo N., Kurkela E., Koskinen-Soivi M.-L. Desulfurization of biomass syngas using ZnO-based adsorbents: long-term hydrogen sulfide breakthrough experiments // Energy & Fuels. - 2020. - Vol. 34, No. 3. - P. 3316-3325. - DOI: 10.1021/acs.energyfuels.9b04276.

8. Alane N., Djerad S., Tifouti L. Acid leaching of zinc from ZnO/Al₂O₃ catalyst // Lebanese Science Journal. - 2008. - Vol. 9, No. 2. - P. 63-74.

9. De Micco G., Pomiro F.J., Grau J.M., Bohé A.E. Zinc recovery from spent chemical sorbent by dry chlorination and electrodeposition from chloride solutions // International Research Journal of Pure and Applied Chemistry. - 2017. - Vol. 14, No. 3. - P. 1-13. - DOI: 10.9734/IRJPAC/2017/35288.

10. Gkika D.A., Mitropoulos A.C., Kyzas G.Z. Why reuse spent adsorbents? The latest challenges and limitations // Science of the Total Environment. - 2022. - Vol. 822. - Art. 153612. - DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.153612.

11. Kholikulov D.B., Yakubov M.M., Abdukadirov A.A., Mamatkulov N.N., Khaydaraliev Kh.R., Pulatov G., Mukhametdjanova Sh.A. The study of the characteristics of zinc cake and the main direction of processing // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. - 2019. - Vol. 6, No. 10. - P. 11416-11421.

12. Yakubov M.M., Kholikulov D.B., Maksudhodjaeva M.S., Yoqubov O.M. Improvement of the technological scheme for processing zinc concentrates by



hydrometallurgical method at JSC Almalyk MMC // Complex Use of Mineral Resources. - 2025. - Vol. 333, No. 2. - P. 89-96. - DOI: 10.31643/2025/6445.21.

13. Yakubov M.M., Kholikulov D.B., Yokubov O.M., Khaidaraliev H.R. Development of an effective technology for hydrometallurgical processing of zinc cakes by Almalyk MMC JSC // Tsvetnye Metally. - 2025. - No. 2. - DOI: 10.17580/tsm.2025.02.04.