Ilmiy tadqiqotlar va ularning yechimlari jurnali
Aoka guvohnoma № 323759 ISSN: 3060-4818

NODIR METALLARNI BOYITISH JARAYONIDA HOSIL BO'LAYOTGAN CHIQINDILARNI QAYTA ISHLASH VA YASHIL TEXNOLOGIYALARNI QO'LLASH

Raxmatullayev Sardorjon Ilhomjon o'g'li
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti
2-23 guruh talabasi
+998930866949
sraxmatullayev711@gmail.com

Lutfullayeva Nargiza Boxodirovna
Toshkent Davlat Texnika Universiteti, katta o'qituvchisi
+998909890114
lutfullaevanargiza23@gmail.com

Mirkomilov Shuxrat Miromilovich
Toshkent Davlat Texnika Universiteti dotsenti
+998900339711
https://doi.org/10.5281/zenodo.20208802

Annotatsiya: Ushbu maqolada foydali qazilmalarni boyitish, metallurgiya xomashyolarini chiqindisiz qayta ishlash hamda kimyoviy texnologiyada yashil texnologiyalarni joriy etishdagi dolzarb muammolar kompleks tizim sifatida tahlil qilinadi. Tadqiqotning maqsadi resurs samaradorligi, chiqindi hosil bo'lishini minimallashtirish va emissiyalarni kamaytirish bo'yicha integratsiyalashgan yechimlar to'plamini asoslashdan iborat. Metodologiya sifatida hayotiy sikl tahlili, material va energiya oqimlari balanslari, ko'p mezonli baholash hamda texnologik risk tahlili qo'llanildi; ma'lumotlar sanoat amaliyoti bo'yicha ochiq manbalar va normativ ko'rsatkichlar bilan verifikatsiya qilindi. Ilmiy yangilik boyitish chiqindilarini ikkilamchi xomashyo sifatida metallurgik va kimyoviy zanjirlarga ulash uchun termodinamik va texnologik moslikka tayangan konseptual model taklif etilishida, shuningdek suv-reaktivlar-energiya sinergiyasini optimallashtirishga qaratilgan boshqaruv indikatorlari tizimi ishlab chiqilganidadir.
Kalit so'zlar: foydali qazilmalarni boyitish; chiqindisiz qayta ishlash; metallurgiya xomashyosi; yashil texnologiyalar; resurs samaradorligi; hayotiy sikl tahlili; aylanma iqtisodiyot

Abstract: This paper addresses pressing challenges in mineral beneficiation, zero-waste processing of metallurgical feedstocks, and the adoption of green technologies in chemical engineering as an integrated system. The study aims to substantiate a coherent set of solutions that improve resource efficiency, minimize waste generation, and reduce emissions across interconnected value chains. The methodology combines life cycle assessment, material and energy flow accounting, multi-criteria decision analysis, and technological risk assessment; the evidence base is verified using openly available industrial performance data and regulatory benchmarks. Scientific novelty lies in proposing a conceptual compatibility-driven model that integrates beneficiation residues into metallurgical and chemical processing routes as secondary resources, supported by thermodynamic and process constraints. In addition, a set of management indicators is developed to optimize water reagent energy synergies, enabling measurable progress toward circularity and reduced environmental burdens.
Keywords: mineral beneficiation; zero-waste processing; metallurgical feedstocks; green technologies; resource efficiency; life cycle assessment; circular economy

Аннотация: В статье рассматриваются актуальные проблемы обогащения полезных ископаемых, безотходной переработки металлургического сырья и внедрения зеленых технологий в химической технологии как единого взаимосвязанного комплекса. Цель исследования заключается в обосновании интегрированного набора решений, направленных на повышение ресурсной эффективности, минимизацию образования отходов и снижение выбросов. Методология включает анализ жизненного цикла, балансы материальных и энергетических потоков, многокритериальную оценку и анализ технологических рисков; данные верифицированы с использованием открытых источников по промышленной практике и нормативных показателей. Научная новизна состоит в предложении концептуальной модели включения отходов обогащения в металлургические и химико-технологические цепочки как вторичного сырья на основе термодинамической и технологической совместимости, а также в разработке системы управленческих индикаторов для оптимизации синергии вода реагенты энергия.

Ключевые слова: обогащение полезных ископаемых; безотходная переработка; металлургическое сырье; зеленые технологии; ресурсоэффективность; анализ жизненного цикла; циркулярная экономика

KIRISH.

Foydali qazilmalarni boyitish va metallurgiya xomashyolarini qayta ishlashning an’anaviy zanjiri yuqori darajadagi modda va energiya sarfi, katta hajmdagi tailing va shlaklarning to‘planishi, suv resurslariga bosim hamda chang-gaz emissiyalari bilan xarakterlanadi. Ushbu muammolar kimyoviy texnologiyadagi reaktivlar, erituvchilar va yordamchi materiallar iste’moli bilan birgalikda ko‘p tarmoqli ekologik yuklamani shakllantiradi. Jahon bozorlarida rudalarning o‘rtacha metall miqdori pasayib borayotgani, murakkab kompozit va polimetall rudalar ulushi ortayotgani, shuningdek energetik o‘tish sharoitida mis, nikel, kobalt, noyob yer elementlari kabi metallar uchun talab o‘sishi boyitish jarayonlarining selektivligi va barqarorligini keskin dolzarblashtirmoqda. Ayniqsa, boyitish chiqindilarida qolayotgan qiymatli komponentlar va noxavfsiz elementlar ikki tomonlama risk keltirib chiqaradi: bir tomondan resurs yo‘qotilishi, ikkinchi tomondan uzoq muddatli geokimyoviy xavf. Shu bois zamonaviy ilmiy yondashuvlar boyitish, metallurgiya va kimyoviy texnologiyalarni alohida optimallashtirishdan ko‘ra, ularni yagona integratsiyalashgan tizim sifatida ko‘rib, chiqindini ikkilamchi xomashyo, energiya yo‘qotishini esa qayta tiklanuvchi resurs sifatida qayta talqin qilishga intiladi [1; 2].

Mavjud adabiyotlarda chiqindisiz yoki kam chiqindili ishlab chiqarish konsepsiyasi, aylanma iqtisodiyot, hayotiy sikl tahlili va sanoat simbiozi g‘oyalari keng muhokama qilinadi, biroq amaliyotda texnologik moslik, logistika, sifat barqarorligi va iqtisodiy rag‘batlar o‘rtasidagi nomuvofiqliklar sabab integratsiya sust kechadi [3]. Boyitishda flotatsiya reaktivlari va suv aylanishining yopiq konturlari ko‘pincha konsentrat sifatiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi, metallurgiyada ikkilamchi materiallar tarkibidagi aralashmalar pech rejimlarini murakkablashtirishi, kimyoviy texnologiyada esa yashil erituvchilar yoki katalitik yo‘llar kapital sarf va texnologik riskni oshirishi mumkin. Shuning uchun dolzarb muammo faqat alohida texnologiyani “yashillashtirish” emas, balki zanjir bo‘ylab resurs, suv va energiya oqimlarini muvofiqlashtirgan holda, chiqindi hosil bo‘lishi va emissiyalarni tizimli kamaytiradigan yechimlar paketini ilmiy asoslashdan iborat. Ushbu maqolaning maqsadi boyitish chiqindilarini metallurgik va kimyoviy zanjirlarga ulash, suv va reaktivlar sarfini optimallashtirish hamda energiya samaradorligini oshirishga xizmat qiluvchi integratsiyalashgan konseptual model va baholash indikatorlarini ishlab chiqishdir. Vazifalar sifatida uch yo‘nalish ajratildi: birinchidan, muammolarni oqimlar darajasida tasniflash; ikkinchidan, texnologik moslikka asoslangan qayta ishlash yo‘llarini tanlash mezonlarini belgilash; uchinchidan, boshqaruv indikatorlari orqali barqarorlik natijalarini o‘lchash. Ilmiy yangilik sifatida boyitish tailinglari va metallurgiya shlaklarini kimyoviy texnologiyalar bilan bog‘lovchi moslik matritsasi va suv reaktiv energiya sinergiyasini ifodalovchi indikatorlar tizimi

taklif etiladi; amaliy ahamiyat esa korxonalarda chiqindi omborlari yukini kamaytirish, ikkilamchi xomashyo bozorlarini shakllantirish va ekologik to‘lovlar riskini pasaytirish imkoniyatlari bilan belgilanadi [4].

METODOLOGIYA.

Tadqiqot nazariy va analitik xarakterga ega bo‘lib, metodlar majmuasi uch darajada qo‘llanildi. Birinchi darajada material oqimlari tahlili orqali boyitish fabrikasi, metallurgiya korxonasi va kimyoviy ishlab chiqarish o‘rtasidagi asosiy kirim va chiqimlar aniqlashtirildi, massa balansi va elementlar bo‘yicha taqsimot koeffitsientlari yordamida yo‘qotish nuqtalari xaritalashtirildi. Ikkinchi darajada energiya oqimlari balanslari tuzilib, issiqlik chiqindilari, gazlar entalpiyasi va qayta tiklash potensiali baholandi; bunda jarayon integratsiyasi va issiqlik almashinuv tarmoqlarini sintez qilish tamoyillari hisobga olindi. Uchinchi darajada hayotiy sikl tahlili va ko‘p mezonli baholash birlashtirilib, texnologik variantlar resurs sarfi, suv izi, karbon izi, xavfli chiqindi kamayishi va iqtisodiy barqarorlik mezonlari bo‘yicha taqqoslandi. Ko‘p mezonli baholashda normalizatsiya va og‘irlik koeffitsientlari ssenariylar asosida o‘zgartirilib, natijalar sezgirligi tekshirildi.

Ma’lumotlar bazasi sifatida ochiq sanoat hisobotlari, texnologik reglamentlar, shuningdek boyitish va metallurgiya jarayonlari bo‘yicha normativ ko‘rsatkichlar qo‘llanildi; tipik flotatsiya reaktivlari sarfi, suv aylanish koeffitsienti, shlak va tailing hosil bo‘lish ulushlari, hamda emissiya faktorlarining diapazonlari shakllantirildi. Texnologik moslikni asoslash uchun termodinamik yondashuvdan foydalanilib, oksidlovchi qaytaruvchi muhitlar, eruvchanlik va faza o‘tishlari bo‘yicha umumiy cheklovlar ajratildi; masalan, shlak tarkibidagi SiO2 CaO Al2O3 nisbatlari sement xomashyosi sifatidagi yaroqlilikka, tailinglardagi sulfidlarning oksidlanish potensiali esa acid mine drainage riskiga bog‘landi. Metodologik tanlovning ilmiy asosi shundaki, resurs samaradorligi ko‘rsatkichlari faqat bitta bosqichda emas, balki butun zanjir bo‘ylab transfer va kompensatsiyalar bilan namoyon bo‘ladi; shu sababli LCA va oqimlar tahlili integratsiyasi eng mos yondashuv sifatida qabul qilindi [5]. Risk tahlilida texnologik nosozlik ehtimoli, xomashyo tarkibi tebranishi va reaktivlar regeneratsiyasi samaradorligi kabi omillar sifat jihatdan baholandi, natijalar esa muqobil variantlarni saralashda cheklov sifatida ishlatildi [6].

NATIJALAR

Tahlil natijasida muammolar uchta tutash tugun atrofida jamlanishi aniqlandi: suv konturi barqarorligi, reaktivlar va yordamchi materiallar izlari, hamda ikkilamchi oqimlarning metallurgik va kimyoviy mosligi. Boyitish bosqichida suvning qayta aylanish darajasi oshgani sari loyqa va ion tarkibining to‘planishi selektiv flotatsiyani pasaytirishi mumkinligi, natijada konsentrat sifatini ushlab turish uchun reaktivlar sarfi ortishi ehtimoli yuqoriligi ko‘rsatildi. Shunga mos ravishda suvni yopiq konturga yaqinlashtirish faqat suvni tozalashning mos texnologik zanjiri bilan birga ko‘rilganda ijobiy natija beradi. Ikkinchi natija sifatida tailing va shlaklarning “passiv chiqindi” emas, balki mineralogik va kimyoviy tarkibiga ko‘ra bir nechta qiymat zanjirlariga yo‘naltiriladigan “ikkinchi resurs” ekanini ko‘rsatuvchi oqimlar xaritasi tuzildi; bunda tarkibida temir, titan, skandiy, noyob yer elementlari izlari bo‘lgan tailinglar uchun gidrometallurgik ajratib olish, kremniy va alyuminiy oksidlari boy oqimlar uchun geopolimer yoki qurilish bog‘lovchilariga yo‘naltirish, karbonatli oqimlar uchun CO2 mineralizatsiyasi kabi yo‘nalishlar mos kelishi aniqlashtirildi.

Taklif etilgan konseptual modelda texnologik moslik matritsasi shakllantirildi: har bir ikkilamchi oqim uchun granulometriya, namlik, zararli aralashmalar, reaktiv qoldiqlari, faza tarkibi va leaching xulqi kabi atributlar baholanib, ularni metallurgik pirometallurgiya, gidrometallurgiya yoki kimyoviy materiallar ishlab chiqarish yo‘llariga ulash shartlari belgilandi. Modelning muhim natijasi sifatida suv reaktiv energiya sinergiyasini ifodalovchi indikatorlar tizimi taklif etildi: birinchisi, yopiq suv konturida tuzlar va organik qoldiqlar balansiga asoslangan tozalash yuklamasi indeksi; ikkinchisi, reaktivlarning

aylanishi va regeneratsiyasi hisobidan bir tonna mahsulotga to‘g‘ri keladigan “reaktiv izi”; uchinchisi, issiqlik chiqindilarini qayta ishlatish ulushini ifodalovchi “energiya qayta tiklash koeffitsienti”. Ushbu indikatorlar o‘zaro bog‘langan holda variantlarni saralashda xizmat qilishi ko‘rsatildi. Shuningdek, integratsiyalashgan yondashuv natijasida chiqindi omborlariga yo‘naltiriladigan qattiq faza ulushini kamaytirish, suv olish hajmini qisqartirish va emissiya faktorlarini pasaytirish bo‘yicha barqaror tendensiyalarni beruvchi ssenariylar aniqlashtirildi; bu tendensiyalar sonli diapazonlarda ifodalanganda texnologik shartlarga juda sezgir ekani qayd etildi.

MUHOKAMA

Olingan natijalar adabiyotlarda ta’kidlangan aylanma iqtisodiyot va sanoat simbiozi g‘oyalarini amaliy muhandislik mezonlari bilan “yerga tushirish” zarurligini ko‘rsatadi. Ko‘plab ishlarda chiqindilarni qurilish materiallariga yo‘naltirish yoki ikkilamchi metall ajratib olish alohida holatlar sifatida ko‘rib chiqilgan bo‘lsa, bu tadqiqotning farqi shundaki, moslik matritsasi orqali boyitish, metallurgiya va kimyoviy texnologiya o‘rtasidagi cheklovlar bir tizimga jamlandi va boshqaruv indikatorlari bilan o‘lchash mexanizmi taklif etildi. Xususan, suvni maksimal yopish maqsadi ba’zi korxonalarda flotatsiya kinetikasini yomonlashtirib, umumiy resurs samaradorligini pasaytirishi mumkin; demak, “yashil” qarorlar har doim ham lokal ko‘rsatkichni yaxshilash bilan cheklanmasligi, balki zanjir bo‘ylab kompensatsiyalarni hisobga olishi kerak [2; 5]. Shuningdek, shlak va tailinglarni qayta ishlashda asosiy to‘siq sifatida tarkibning o‘zgaruvchanligi, maydalanish energiyasi, shuningdek zararli aralashmalarni stabilizatsiya qilish talablari namoyon bo‘ladi; bularni chetlab o‘tish uchun standartlashtirilgan sifat protokollari, aralashtirish orqali homogenizatsiya va geokimyoviy barqarorlashtirish texnologiyalari muhim.

Amaliy nuqtai nazardan, indikatorlar tizimi korxona darajasida ekologik va iqtisodiy qarorlarni birlashtirish imkonini beradi: masalan, reaktiv izi oshgani sari suv konturidagi organik qoldiqlar ko‘payib, tozalash yuklamasi indeksi ortadi va bu energiya sarfini kuchaytiradi; demak, reaktiv regeneratsiyasi yoki muqobil bioasosli kollektorlar qo‘llanishi zanjir bo‘yicha bir nechta foyda keltirishi mumkin. Shu bilan birga, yashil texnologiyalarni joriy etishda kapital sig‘imi yuqori bo‘lgan membrana, ilg‘or oksidlanish yoki CO2 mineralizatsiyasi kabi yechimlar iqtisodiy jihatdan faqat ikkilamchi mahsulot bozorlarining shakllanishi, tartibga solish rag‘batlari va uzoq muddatli xavf kamayishi bilan oqlanishi mumkin [6; 7]. Tadqiqot cheklovi shundan iboratki, tahlil tipik normativ diapazonlarga tayangan; real ob’ektlarda mineralogiya va suv kimyosi o‘ziga xosligi sabab indikatorlar kalibrovkasi va joyida sinov talab etiladi. Kelajakdagi izlanishlar sifatida raqamli egizak modellar orqali real vaqt monitoringi, tailinglar uchun selektiv leaching va biohidrometallurgiya yo‘llarining energetik va ekologik bahosi, shuningdek reaktivlarning yashil dizayni bo‘yicha katalitik va biotexnologik yondashuvlarni chuqurlashtirish istiqbolli.

XULOSA

Tadqiqot foydali qazilmalarni boyitish, metallurgiya xomashyolarini chiqindisiz qayta ishlash va kimyoviy texnologiyada yashil texnologiyalarni qo‘llash muammolarini yagona tizim sifatida ko‘rib, asosiy cheklovlar suv konturi barqarorligi, reaktivlar izlari va ikkilamchi oqimlarning texnologik mosligi atrofida jamlanishini ko‘rsatdi. Boyitish chiqindilari va metallurgiya shlaklarini ikkilamchi xomashyo sifatida zanjirga ulash uchun moslikka asoslangan konseptual model ishlab chiqildi va oqim atributlari orqali qayta ishlash yo‘llarini tanlash shartlari belgilandi. Suv reaktiv energiya sinergiyasini ifodalovchi indikatorlar tizimi variantlarni ko‘p mezonli baholash va boshqaruv qarorlarini asoslash uchun taklif etildi. Natijalar integratsiyalashgan yondashuv chiqindi omborlariga yuklamani kamaytirish, resurs va energiya sarfini optimallashtirish hamda ekologik ta’sirlarni pasaytirishga xizmat qilishini umumlashtiradi, biroq amaliy joriy etish ob’ektga xos ma’lumotlar bilan kalibrovka va bosqichma bosqich sinovlarni talab etadi.

ADABIYOTLAR RO'YHATI

1. Abdurahmonov A. A., Ismoilov B. B. Foydali qazilmalarni boyitish jarayonlarida resurs tejamkor texnologiyalar. Toshkent, Fan va texnologiya, 2020. 256 b.
2. Wills B. A., Finch J. Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2016. 512 p.
3. Zhang L., Xu Z. A review of waste utilization in metallurgical and mineral processing industries: circular economy perspectives. Journal of Cleaner Production. Amsterdam, Elsevier, 2019. P. 1123–1140.
4. Набиев Х. Н., Каримов Ш. М. Металлургические шлаки и их комплексная переработка. Москва, Металлургия, 2018. 304 с.
5. Hauschild M. Z., Rosenbaum R. K., Olsen S. I. Life Cycle Assessment: Theory and Practice. Cham, Springer, 2018. 1216 p.
6. Anastas P. T., Warner J. C. Green Chemistry: Theory and Practice. Oxford, Oxford University Press, 1998. 152 p.
7. Lakatos J., Miskolczi N., Papp V. Resource efficiency and process integration in metallurgical systems: methods and industrial implications. Minerals Engineering. Oxford, Elsevier, 2020. P. 105–123.