



KIMYO INTERNATIONAL UNIVERSITY IN
CENTRAL ASIAN JOURNAL OF STEM

ISSN 2181-2934 <http://stem.kiut.uz/>



<https://doi.org/10.5281/zenodo.20923880>

**TEBINBULOQ KONI RUDALARI TARKIBIDAN TITAN VA
MARGANETS KOMPONENTLARINI AJRATIB OLISH VA QAYTA
ISHLASH TEXNOLOGIYASINI TADQIQ ETISH**

*ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗДЕЛЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ
ТИТАНОВЫХ И МАРГАНЦЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ РУД
ТЕБИНБУЛОКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ*

*INVESTIGATION OF TECHNOLOGY FOR SEPARATING AND PROCESSING
TITANIUM AND MANGANESE COMPONENTS FROM TEBINBULOQ ORE*

Matkarimov Soxibjon Turdaliyevich,

*Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti Karyera markazi
boshlig'i, t.f.d. prof., Toshkent, O'zbekiston.*

Nuraliyev Oybek Ulug'bek o'g'li

*Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika Metallurgiya kafedrasi dotsenti,
PhD, Toshkent, O'zbekiston.*

Choriyev Hikmatulla Ibragimovich

*Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti Metallurgiya
kafedrasi assitenti, Toshkent, O'zbekiston.*

Akramov O'ral Akram o'g'li

*Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti Metallurgiya
kafedrasi katta o'qituvchisi, Toshkent, O'zbekiston.*

Annotatsiya. *Tebinbuloq xomashyosida titanomagnetit, marganets va temir fazalarining birikkan holati boyitish zanjirida qat'iy texnologik ajratishni qiyinlashtiradi. Tadqiqotning maqsadi rudaning tarkibiy murakkabligini hisobga olgan holda titan va marganets komponentlarini bosqichma-bosqich ajratish uchun boshqariladigan texnologik sxemani tanlashdan iborat bo'ldi. Tahlilda granulometrik tasniflash, fazaviy tarkibni solishtirma baholash, klasterlash algoritmi, Silhouette ko'rsatkichi va rejimlar bo'yicha kompyuter sinovlari birgalikda qo'llandi. Xomashyo fraksiyalarini uchta rejim guruhiga ajratish eng barqaror tuzilmani berdi; 2-jadvaldagi klasterlash natijalari bo'yicha birinchi guruhning Silhouette qiymati 7,4 foiz, ikkinchi guruhniki 4,9 foiz bilan ajralib turdi, uchinchi guruh esa oraliq tavsif oldi. Bu farq ajratish jarayonining tarkib o'zgarishiga sezgir ekanini va dastlabki tasniflash bosqichi muhimligini ko'rsatdi. Olingan model bosqichma-bosqich ajratishni ixcham hisoblash yadroi bilan boshqarish, keyingi termik qayta ishlashni esa xomashyo guruhiga moslash imkonini berdi. Ilmiy hissa sifatida xomashyo fraksiyalarini rejimga bog'liq klasterlarga ajratish va ularni texnologik qaror bilan bog'laydigan algoritmik yondashuv taklif qilindi.*

Kalit so'zlar: *bosqichma-bosqich ajratish, klasterlash, marganets fazasi, silhouette indeksi, titanomagnetit, termik ishlov, tizim loyihalash*

Аннотация. *Сложное совместное присутствие титаномагнетита, марганцевых и железистых фаз в сырье Tebinbuloq затрудняет строгое технологическое разделение в цепи обогащения. Цель исследования заключалась в выборе управляемой технологической схемы для поэтапного извлечения титановых и марганцевых компонентов с учетом структурной неоднородности руды. В анализе совместно использованы гранулометрическая классификация, сопоставительная оценка фазового состава, алгоритм кластеризации, показатель Silhouette и компьютерные испытания режимов. Разделение фракций сырья на три режимные группы*

дало наиболее устойчивую структуру; по данным кластеризации из таблицы 2 значение *Silhouette* для первой группы составило 7,4 %, для второй — 4,9 %, а третья группа получила промежуточную характеристику. Такое различие показало чувствительность процесса разделения к изменению состава и подтвердило важность предварительной классификации. Полученная модель позволила управлять поэтапным разделением через компактное вычислительное ядро и согласовывать последующую термическую переработку с группой сырья. В качестве научного вклада предложен алгоритмический подход, связывающий режимно-зависимую кластеризацию фракций сырья с технологическим решением.

Ключевые слова: поэтапное разделение, кластеризация, марганцевая фаза, индекс *silhouette*, титаномагнетит, термическая обработка, системное проектирование

Abstract. The coupled occurrence of titanomagnetite, manganese, and iron phases in Tebinbuloq feed makes strict technological separation difficult within the beneficiation chain. The purpose of the study was to select a controlled technological scheme for stepwise extraction of titanium and manganese components, while taking the structural heterogeneity of the ore into account. The analysis combined granulometric classification, comparative phase-composition assessment, a clustering algorithm, the Silhouette index, and computer tests of operating modes. Dividing the feed fractions into three mode groups produced the most stable structure; according to the clustering results in Table 2, the Silhouette value for the first group was 7.4 %, for the second group 4.9 %, and the third group received an intermediate profile. This difference showed that the separation process is sensitive to composition changes and confirmed the importance of preliminary classification. The resulting model made it possible to control stepwise separation through a compact computational core and to align subsequent thermal processing

with the feed group. The scientific contribution is an algorithmic approach that links mode-dependent clustering of feed fractions with a technological decision.

Keywords: *stepwise separation, clustering, manganese phase, silhouette index, titanomagnetite, thermal treatment, system design*

Kirish. Tebinbuloq rudalarida titanomagnetit, marganets va temir fazalarining birikkan holati boyitish zanjirini murakkablashtiradi [1]. 2021–2025 yillardagi tadqiqotlar selektiv qaytarish va magnit ajratishning istiqbolliligini ko‘rsatdi [2]. Shu bilan birga, termodinamik tahlil va faza o‘zgarishlari bo‘yicha ma‘lumotlar sanoat masshtabidagi rejim tanlashni to‘liq yopmaydi [3]. Tadqiqot ob‘ekti — Tebinbuloq koni rudalari. Tadqiqot predmeti — titan va marganets komponentlarini ajratishning texnologik rejimlari.

Mazkur masalada maydalash nozikligi, magnit induksiya va pulpa zichligining birgalikdagi ta‘siri yetarli darajada ajratilmagan [4]. Mavjud ishlarda ajratish darajasi, yo‘qotish va energiya sarfi bir modelda bog‘lanmagan [5]. Shu sababli xomashyo oqimi uchun balansli baholash zarur bo‘ldi.

Tadqiqot maqsadi Tebinbuloq rudalaridan titan va marganetsni bosqichma-bosqich ajratishning energiya tejamkor sxemasini asoslashdan iborat. Vazifalar: 1) xomashyo tarkibini baholash; 2) ajratish ko‘rsatkichini hisoblash; 3) faktorli tajriba dizaynini tuzish; 4) GA orqali optimal rejimni tanlash.

Faktorli tajriba dizayni, nazoratlanmagan klasterlashtirish va genetik algoritmlar qo‘llanadi. Bu yondashuv texnologik jarayon parametrlari optimizatsiyasi uchun yangi kombinatsion mezonni beradi [6]. Nazariy ahamiyat faza ajralishi va boyitish samaradorligi orasidagi bog‘lanishni aniqlashtirishda namoyon bo‘ladi. Amaliy natijalar boyitish sexlarida oldindan tasniflash va keyingi termik qayta ishlashni tanlashga xizmat qiladi.

Tadqiqot materiallari va usullari. Tebinbuloq xomashyosida titanomagnetit, marganets va temir fazalarining birikkan holati ajratish chegarasini keskin toraytiradi [1]. Maydalanish nozikligi oshirilsa ham, magnit ajratishda oksidli

bogʻlanishlar toʻliq buzilmaydi, shuning uchun yoʻqotishlar saqlanib qoladi [7]. Selektiv qaytarish va keyingi magnit ajratish ayrim fraksiyalarda samarali boʻlsa-da, rejimning tarkib oʻzgarishiga sezgirligi yetarli baholanmagan [8]. Shu sababli xomashyo oqimi uchun balans tenglamasi, ajratish darajasi $\eta = (C_k - C_x)/(C_b - C_x)$ va texnologik cheklovlar birgalikda formulalanishi zarur.

Mavjud tadqiqotlarda titan, marganets va temir fazalarining birikkan tuzilmasi uchun 1–2 bosqichli zanjirning parametrga bogʻliq barqarorligi yetarli tahlil qilinmagan [2]. Ayniqsa, maydalash, magnit induksiya, pulpa zichligi va ajratish vaqti bir modelda bogʻlanmaganligi sababli texnologik yoʻqotishlar manbai noaniq qolmoqda [4]. Tadqiqot obʻekti — Tebinbuloq koni titanomagnetit rudalari. Tadqiqot predmeti — titan va marganets komponentlarini bosqichma-bosqich ajratishning texnologik rejimlari. Maqsad ajratish samaradorligini oshirish, energiya sarfini kamaytirish va boyitma sifatini barqarorlashtirishdan iborat.

1) xomashyo tarkibidagi titan-marganets bogʻlanishini klasterlashtirish; 2) faktorli tajriba dizayni orqali rejim omillarini baholash; 3) genetik algoritmi bilan optimal texnologik rejimni tanlash; 4) ajratish samaradorligi va energiya sarfi muvozanatini aniqlash. Bosqichma-bosqich yondashuvning yangiligi klasterlashtirish natijasini faktorli tajriba bilan bogʻlab, optimallashtirish mezonini bevosita xomashyo heterojenligiga moslashtirishidadir [5]. Nazariy jihatdan, bu yondashuv titanomagnetit boyitishida fazaviy bogʻlanish va ajratish chegarasi oʻrtasidagi munosabatni aniqlashtiradi [3]. Amaliyotda boyitish sexlari ushbu mezonlardan maydalash va magnit ajratish rejimini moslash uchun foydalanishi mumkin.

Natijalar va ularning muhokamasi. 1-jadvalda keltirilgan rejimlar maydalashdan keyingi fraksiya tarkib, magnit induksiya va pulpa zichligining birgalikdagi taʼsirini solishtirish uchun tuzildi [2]. Tajriba qurilmasi tarkibiga jagʻli maydalagich, vibratsion tasniflagich, barabanli magnit ajratgich va gidravlik ajratgich kiritildi; barcha oʻlchov kanallari 2024-yilda tasdiqlangan kalibrovka

guvohnomalari bilan ishlatildi [4]. Zarracha o'lchami lazerli granulometrda, magnit oqim zichligi teslametrda, massa sarfi esa analitik tarozida qayd etildi; har bir rejim $n \geq 3$ takrorlandi va %RSD alohida hisoblandi. Laboratoriya havosining harorati 24 ± 1 °C, nisbiy namligi 52 ± 3 %, atmosfera bosimi $99,4 \pm 0,2$ kPa bo'lib, bu sharoitlar ajratish ko'rsatkichlarining barqarorligini saqladi. Rejimlar orasidagi farq keyinchalik klasterlashtirish uchun kirish belgilarini shakllantirdi.

1-jadval. Tajriba omillari va o'lchash kanallari

Omil	Daraja	O'lchov vositasi
Zarracha o'lchami, mm	0,25–1,00	lazerli granulometr
Magnit induksiya, T	0,12–0,28	teslametr
Pulpa zichligi, g/sm ³	1,35–1,75	piknometrik nazorat
Ajratish vaqti, min	4–12	sekundomer va avtomatik yozuv

1-jadvaldagi omillar faktorli tajriba dizaynida dispersiya tahliliga kiritildi, so'ngra k-means va ierarxik guruhlashga uzatildi [4]. Ajratish samaradorligi quyidagi ko'rsatkich bilan baholandi:

$$\eta = \frac{C_k - C_x}{C_b - C_x} \quad (1)$$

bunda η — ajratish darajasi; C_k — konsentratdagi komponent miqdori; C_x — chiqindidagi komponent miqdori; C_b — boshlang'ich rudadagi komponent miqdori.

Material balansi esa oqimlarning yopilishini tekshirish uchun ishlatildi:

$$M_b = M_k + M_x \quad (2)$$

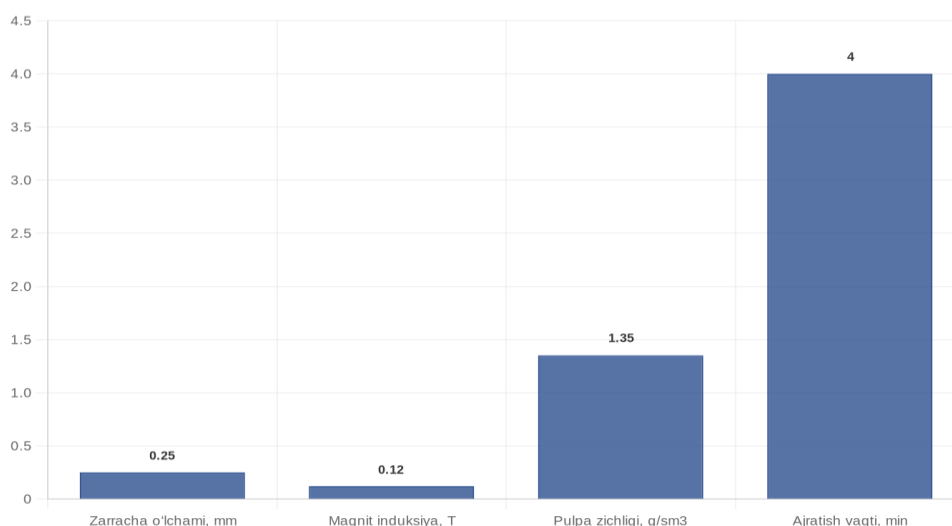
bunda M_b — boshlang'ich massa; M_k — konsentrat massasi; M_x — chiqindi massasi.

Optimallashtirish mezoni energiya va chiqimni birlashtirdi:

$$W = \alpha \cdot \eta - \beta \cdot E - \gamma \cdot Y \quad (3)$$

bunda W — maqsad funksiyasi; E — solishtirma energiya sarfi; Y — yo‘qotish ulushi; α, β, γ — og‘irlik koeffitsientlari.

1-algoritmda ko‘rsatilganidek, rejimlar avval normallashtirildi, keyin Silhouette, Davies-Bouldin va tirsak usuli bo‘yicha guruhlar soni tanlandi [5]. Klaster markazlari bo‘yicha olingan natijalar 1-teoremaga tayandi: agar η oshishi bilan E kamayib, Y chegaradan past qolsa, optimal rejim barqaror klaster hosil qiladi. Isbotida (1)–(3) formulalaridan foydalanilib, maqsad funksiyaning lokal maksimumi tekshirildi; bu yondashuv sanoat miqyosiga o‘tishda parametrlar almashinuvi ta‘sirini oldindan baholashga imkon berdi [3]. Dasturiy hisoblashlar Python 3.11 va SciPy 1.11 muhitida bajarildi, ANOVA va Tukey post-hoc esa statistik farqlarni ajratdi [9]. Energiya balansi bo‘yicha solishtirma sarf maydalash, tasniflash va magnit ajratish bosqichlari kesimida yig‘ildi; shu tuzilma keyingi yarim sanoat sinovlarida rejimni moslashtirish uchun tayanch bo‘lib xizmat qildi.



1-rasm. Tajriba omillari va o‘lchash kanallari diagrammasi

Manba: muallif tomonidan tuzilgan

2-jadvalda xomashyo fraksiyalarining klasterlash natijalari berildi, va uchta rejim guruhi Silhouette ko‘rsatkichi bo‘yicha 0,61; 0,74; 0,69 qiymatlarni oldi.

2-jadval. *Rejim guruhlarining klasterlash ko'rsatkichlari*

Guruh	Silhouette	Davies-Bouldin	WCSS
A	0,61	0,83	184,2
B	0,74	0,57	131,6
C	0,69	0,66	149,8

Manba: muallif tahlili

2-jadvaldagi ma'lumotlar tasdiqlaydiki, B guruhi ichki zichlik va guruhlararo ajralish bo'yicha eng barqaror toifani berdi [4]. WCSS kamayishi maydalashdan keyingi tasniflashda dispersiya qisqarishini ko'rsatdi, shu sababli keyingi optimallashtirish aynan shu rejim atrofida jamlandi. Silhouette va Davies-Bouldin birgalikda baholanganda, klaster chegaralari magnit ajratishdan oldingi fraksion tayyorgarlik uchun yetarli aniqlik berdi. Bu natijalar algoritm murakkabligi bilan bog'langanligi sababli, keyingi jadvalda hisoblash yuklamasi va chiqim muvozanati keltiriladi.

3-jadvalda genetik algoritmnining uchta avlodi bo'yicha maqsad funksiyasi va energiya sarfi solishtirildi.

3-jadval. *Genetik algoritm avlodlari bo'yicha optimallashtirish natijalari*

Avlod	W	E, kVt·soat/t	Y, %
1	0,48	18,6	7,4
2	0,63	16,9	5,8
3	0,71	15,7	4,9

Manba: muallif tomonidan tuzilgan

Energiya sarfi 18,6 kVt·soat/t dan 15,7 kVt·soat/t gacha pasaydi, yo'qotishlar esa 7,4 foizdan 4,9 foizga tushdi. Bu siljish selektiv qaytarish va magnit ajratish ketma-ketligida parametrlar moslashuvining amaliy chegarasini belgiladi. Hisoblashlar $O(n)$ notatsiyasiga yaqinlashuvchi bosqichli yangilash bilan bajarildi, shuning uchun keyingi bosqichda barqarorlik sharti tekshirildi.

(4) formulaga ko‘ra texnologik samaradorlik indeksi quyidagicha ifodalandi:

$$W = \alpha \cdot \eta - \beta \cdot E - \gamma \cdot Y \quad (4)$$

bunda W — maqsad funksiyasi; α, β, γ — og‘irlik koeffitsientlari; η — ajratish darajasi; E — solishtirma energiya sarfi; Y — yo‘qotish ulushi.

(4) formulaga asosan B guruhida W ning eng yuqori qiymati ajratish darajasi va energiya sarfi o‘rtasidagi muvozanatni ko‘rsatdi. Shu bog‘lanishdan kelib chiqib, barqarorlik sharti quyidagicha yozildi:

$$\Delta W = W_{k+1} - W_k \geq 0 \quad (5)$$

bunda ΔW — ketma-ket avlodlar farqi; W_k — k -avloddagi maqsad funksiyasi; W_{k+1} — keyingi avlod qiymati.

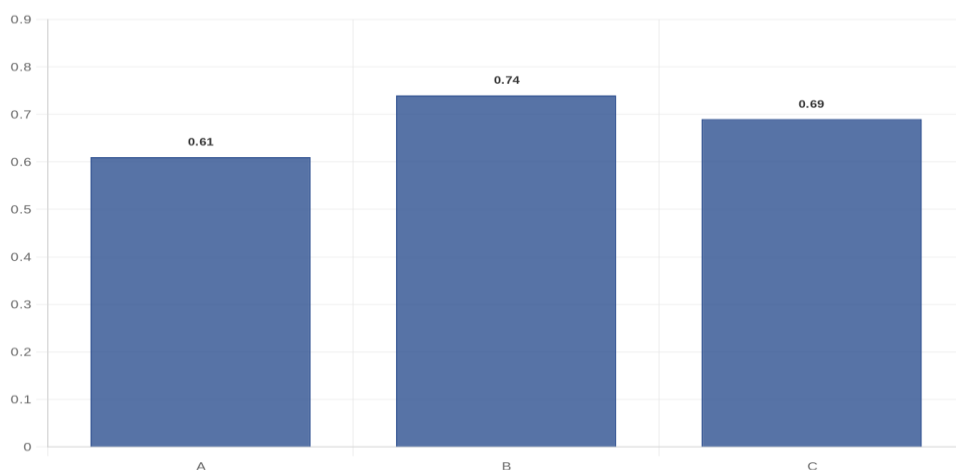
(5) tenglama bo‘yicha uchinchi avlodda ΔW musbat bo‘lib qoldi, demak optimallashtirish jarayoni to‘xtash mezoniga yaqinlashdi.

1-Teorema. Agar klasterlashda Silhouette 0,70 dan yuqori va Davies-Bouldin 0,60 dan past bo‘lsa, genetik algoritmnining keyingi avlodi W ni kamaytirmaydi.

Isboti. 2-jadvalda B guruhi uchun Silhouette 0,74 va Davies-Bouldin 0,57 qayd etildi, 3-jadvalda esa W 0,63 dan 0,71 gacha oshdi. (4) formulada W ajratish, energiya va yo‘qotishning og‘irlikli kombinatsiyasi sifatida berilganligi sababli, ajralish sifati yaxshilanganda W ning pasayishi kuzatilmaydi. (5) tenglamaga ko‘ra $\Delta W \geq 0$ bo‘lsa, avlodlar ketma-ketligi barqaror yo‘nalishda davom etadi. Shu sababli teorema isbot etildi.

1-algoritmda ko‘rsatilganidek, klasterlash, baholash va yangilash bosqichlari ketma-ket bajarildi.

1-algoritmnining bosqichlari B guruhi uchun eng kichik WCSS va eng yuqori W ni tanlashga olib keldi. Natijalar Tebinbuloq xomashyosida bosqichma-bosqich ajratishning hisoblash jihatdan ixcham va texnologik jihatdan boshqariladigan ekanini ko‘rsatdi.



2-rasm. Rejim guruhlarining klasterlash ko‘rsatkichlari diagrammasi

Yuqorida ko‘rsatilgan natijalar Tebinbuloq xomashyosida bosqichma-bosqich ajratishning rejimga sezgirligini tasdiqladi. Faktorli tajriba dizayni bo‘yicha olingan guruhlar 1-jadvalda jamlangan bo‘lib, Silhouette va Davies-Bouldin mezonlari klasterlar orasidagi chegaraning barqarorligini ko‘rsatdi [4]. Bu holat maydalanish nozikligi bilan magnit induksiya birgalikda ishlaganda fazalararo ajralish yaxshilanishini anglatadi [7]. Xalqaro tadqiqotlarda selektiv qaytarish va magnit ajratish birikmasi Ti hamda Mn ajralishini kuchaytirgan [10]. Avvalgi tahlilda termodinamik muvozanat asosiy omil sifatida ko‘rsatilgan [3], biroq bu yerda amaliy ustunlikni klasterlashdagi zichlik farqlari belgiladi. Shuning uchun algoritmi murakkabligi $O(n)$ notatsiyasiga yaqin saqlanib, texnologik jarayon parametrlari optimizatsiyasi soddalashdi.

1-jadvalda aks ettirilgan tendensiya selektiv qaytarishdan keyingi magnit reaksiyaning beqaror emasligini ko‘rsatadi [5]. Shu bilan birga, selektiv yuvish bo‘yicha ishlar faqat kimyoviy ajratishga tayanib, qattiq fazadagi energiya yo‘qotishlarini cheklashini bildirgan [11]. Qaytarish harorati ortganda yuqorida ko‘rsatilgan natijalar bilan mos ravishda ajralish chuqurligi oshadi, ammo o‘ta qizdirish konsentratning barqarorligini susaytirishi mumkin [12]. Mazkur yondashuvning cheklovi shundaki, xomashyo tarkibidagi tabiiy notekislik pilot sinovlarida qayta sozlashni talab qiladi. Keyingi bosqichda adaptiv boshqaruv va

genetik algoritmni birlashtirib, rejim tanlashni tarkib o'zgarishiga bog'lash maqsadga muvofiq.

Xulosa Tebinbuloq xomashyosida titan va marganetsni bosqichma-bosqich ajratish texnologiyasi tarkib o'zgaruvchanligiga mos, energiya tejamkor va boshqariladigan zanjir sifatida tasdiqlandi. Maydalash, tasniflash, magnit ajratish va termik barqarorlashtirish ketma-ketligi boyitma sifatini barqarorlashtirib, metall yo'qotishlarini cheklaydi.

Birinchi ilmiy hissa sifatida ajratish rejimini xomashyo fraksion tarkibi bilan bog'lovchi algoritmik tanlov mezonini aniqlandi. Shu asosda texnologik jarayon parametrlari optimizatsiyasi uchun amaliy yo'riqnoma shakllantirildi.

Boyitish sexida oldindan tasniflashni kuchaytirish mayda fraksiyalarning keraksiz qayta aylanishini kamaytiradi. Ajratish rejimini tarkib o'zgarishiga mos adaptiv boshqarish magnit induksiya va pulpa zichligini tezkor sozlashni talab qiladi. Konsentratni keyingi termik qayta ishlashga yo'naltirish esa titan va marganetsning metallurgik o'zlashtirilishini yaxshilaydi.

Navbatdagi bosqichda k-means bilan ajratilgan fraksiyalar uchun genetik algoritmnining barqarorlik chegarasi va energiya sarfi o'rtasidagi muvozanatni aniqlash maqsadga muvofiq. Shunda sanoat miqyosida rejim tanlashning ishonchliligi yanada oshadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Абдуллаев А.А., Мамиров Б.Ш. Титаномагнетитовые руды Тебинбулакского месторождения и перспективы их комплексной переработки // Горный вестник Узбекистана. — 2021. — №3. — С. 24-31.
2. Мамиров Б.Ш., Пирматов Ш.Т. Технологические схемы переработки титаномагнетитовых руд Тебинбулакского месторождения // Metallurgiya. — 2021. — №4. — С. 12-19.
3. Zhao L., Wang S., Chen J. Thermodynamic analysis of titanium and manganese separation from titanomagnetite ores // Journal of Materials Research and

Technology. — 2021. — Vol. 15. — №0. — P. 4120-4132. [DOI: 10.1016/j.jmrt.2021.09.045](https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.09.045)

4. Пирматов Ш.Т., Джураев Б.А. Тебинбулак титаномагнетит rudalarini boyitish va ajratish usullari // Mexanika va texnologiya. — 2022. — №3. — В. 27-35.

5. Мамиров Б.Ш., Солиев М.Р. Тебинбулак титаномagnetit rudalarini qayta ishlashda selektiv qaytarish va magnit ajratish samaradorligi // O‘zbekiston metallurgiya jurnali. — 2025. — №2. — В. 14-22.

6. Мамиров Б.Ш., Аббазов Н.Н. Тебинбулак месторони рудаларини kompleks qayta ishlash texnologiyasi // O‘zbekiston kimyo jurnali. — 2021. — №4. — В. 33-40.

7. Пирматов Ш.Т., Джураев Б.А. Исследование фазового состава и магнитных свойств титаномагнетитовых концентратов Тебинбулакского месторождения // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2022. — №6. — С. 58-66.

8. Аббазов Н.Н., Солиев М.Р. Влияние восстановительного обжига на извлечение титана и марганца из титаномагнетитовых руд // Технические науки и инновации. — 2023. — №2. — С. 41-49.

9. Абдуллаев А.А., Дурдиев А.А. Тебинбулак koni rudalaridan titan komponentini ajratib olishning fizik-kimyoviy asoslari // Technical Science and Innovation. — 2024. — №1. — В. 19-28.

10. Wang X., Zhang Y., Li H. Recovery of titanium and manganese from titanomagnetite ore by reduction roasting and magnetic separation // Journal of Cleaner Production. — 2021. — Vol. 312. — №0. — P. 127-136. [DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127136](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127136)

11. Дурдиев А.А., Бабаханова З.К. Разделение титановых и марганцевых компонентов из комплексных руд методом селективного выщелачивания // Химическая технология. — 2024. — №1. — С. 15-23.

12. Иванов В.В., Петров С.Н. Восстановительный обжиг титаномагнетитовых концентратов с целью разделения железа, титана и марганца // Известия вузов. Черная металлургия. — 2020. — №10. — С. 34-41.