ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 10

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 10

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

FLOTATSIYA JARAYONLARIDA MASHINALI O‘QITISH TEXNOLOGIYALARINING QO‘LLANILISHI: ZAMONAVIY YONDASHUVLAR VA RIVOJLANISH ISTIQBOLLARI

Mahmudov G‘.B.
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti dotsenti
Nurmamatov J.A.
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti doktoranti

Annotatsiya. Ushbu maqolada flotatsiya jarayonlarida mashinali o‘qitish va sun’iy intellekt texnologiyalarining qo‘llanilishi bo‘yicha so‘nggi yillarda amalga oshirilgan ilmiy tadqiqotlar tahlil qilinadi. Tadqiqot 2018–2024 yillarda nashr etilgan ilmiy manbalar asosida adabiyotlar sharhi usulida olib borildi. Tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, mashinali o‘qitish algoritmlari flotatsiya jarayonlarining asosiy ko‘rsatkichlarini prognozlash, reagent sarfini optimallashtirish, ko‘pik (froth) holatini monitoring qilish hamda konsentrat sifati va metall ajratib olish samaradorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa, konvolyutsion neyron tarmoqlar (KNT) asosidagi chuqur o‘qitish usullari ko‘pik tasvirlarini tahlil qilishda yuqori aniqlik va barqarorlikni namoyish etgan. Shu bilan birga, ma’lumotlar hajmining cheklanganligi, modellarning tushuntiruvchanligi, ko‘pik fazasining murakkab tabiati hamda real vaqt boshqaruv tizimlariga integratsiya qilishdagi qiyinchiliklar ushbu yo‘nalishdagi asosiy muammolar sifatida aniqlandi. Tadqiqot natijalari flotatsiya jarayonlarini raqamlashtirish va optimallashtirishda mashinali o‘qitish texnologiyalarining katta salohiyatga ega ekanligini ko‘rsatadi hamda kelgusidagi tadqiqotlar uchun istiqbolli yo‘nalishlarni belgilab beradi.

Kalit so‘zlar: flotatsiya, mashinali o‘qitish, chuqur o‘qitish (ChO‘), konvolyusion neyron tarmoq (KNT), ko‘pik tasviri tahlili, pufakcha hajmi taqsimoti, mineral boyitish, jarayon nazorati, gibrid modellar.

Аннотация. В данной статье анализируются последние научные исследования по применению технологий машинного обучения и искусственного интеллекта в процессах флотации. Исследование проводилось методом обзора литературы на основе научных источников, опубликованных в 2018–2024 годах. Результаты анализа показали, что алгоритмы машинного обучения играют важную роль в прогнозировании основных показателей процессов флотации, оптимизации расхода реагентов, мониторинге состояния пены, а также повышении качества концентрата и эффективности извлечения металлов. В частности, методы глубокого обучения на основе сверточных нейронных сетей продемонстрировали высокую точность и стабильность при анализе изображений пены. В то же

ISSN 3030-3907

время, в качестве основных проблем в этом направлении были определены ограниченный объем данных, интерпретируемость моделей, сложная природа пенной фазы и трудности их интеграции в системы управления в реальном времени. Результаты исследования демонстрируют большой потенциал технологий машинного обучения в цифровизации и оптимизации процессов флотации и определяют перспективные направления для будущих исследований.

Ключевые слова: флотация, машинное обучение, глубокое обучение, сверточная нейронная сеть, анализ изображений пены, распределение размеров пузырьков, обогащение минералами, управление процессом, гибридные модели.

Abstract. This article analyzes recent research on the application of machine learning and artificial intelligence technologies in flotation processes. The study was conducted using a literature review based on scientific publications published between 2018 and 2024. The analysis revealed that machine learning algorithms play a significant role in predicting key flotation process parameters, optimizing reagent consumption, monitoring froth conditions, and improving concentrate quality and metal recovery efficiency. Specifically, deep learning methods based on convolutional neural networks demonstrated high accuracy and stability in froth image analysis. However, the key challenges identified in this area included limited data volume, model interpretability, the complex nature of the froth phase, and difficulties integrating them into real-time control systems. The results of the study demonstrate the significant potential of machine learning technologies in the digitalization and optimization of flotation processes and identify promising areas for future research.

Keywords: flotation, machine learning, deep learning, convolutional neural network, froth image analysis, bubble size distribution, mineral enrichment, process control, hybrid models.

KIRISH.

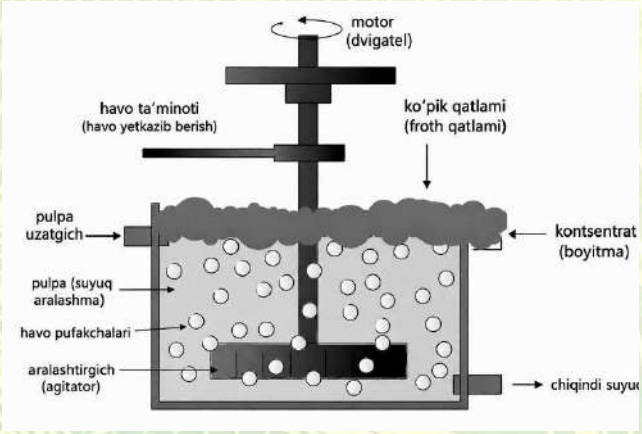
Madan va resurslarni qazib olish va ishlab chiqarish samaradorligi tobora muhim ahamiyat kasb etayotgan bugungi davrda, konchilik sohasi texnologik jarayonlarni optimallashtirishning asosiy qo‘llaniladigan sohalaridan biri sifatida namoyon bo‘lmoqda. Noyob metallarni ajratishda muhim usul bo‘lgan flotatsiya jarayoni qimmatbaho resurslarni olishda hal qiluvchi ahamiyatga ega bo‘lib, ularning tozaligi va miqdori global sanoat hamda ilg‘or texnologiyalar rivojiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli, aniq va samarali ajratish jarayonlarini ta’minlash nafaqat sanoat talabi, balki ijtimoiy-iqtisodiy zaruratdir. Zamonaviy nazorat qilish va monitoring vositalari konchilik jarayonlarining umumiy

ISSN 3030-3907

samaradorligini oshirishda muhim rol o‘ynaydi, bu esa sanoat taraqqiyoti va ishlab chiqarish samaradorligini mustahkamlaydi.

ADABIYOTLAR SHARHI. So‘nggi o‘n yillikda mashinali o‘qitish (MO‘) va sun’iy intellekt (SI) texnologiyalarining madanlarni qayta ishlash sohasiga kirib kelishi an’anaviy muhandislik yondashuvlarini tubdan o‘zgartirmoqda. Szmigiel va boshqalar [1] ta’kidlaganidek, o‘tgan o‘n yil ichida tadqiqotchilar madanlarni boyitish jarayonlaridagi turli muammolar uchun MO‘ va SI texnologiyalarining potensial yechimlarini taklif etishgan. Bu tendensiya kompyuter fanlari sohasidagi tez rivojlanish va katta hajmli ma’lumotlarning (Big Data) mavjudligi bilan bevosita bog‘liq.

Flotatsiya jarayonining nazariy asoslari. Flotatsiya jarayoni suv muhitida maxsus flotatsiya kameralarida amalga oshiriladi, ushbu kameralar havo pufakchalarini hosil qilish uchun aeratsiya qilinadi. Suspenziya zarrachalari bir tekisda taqsimlanib turishi uchun elektr dvigatel yordamida aralashtiriladi va harakatga keltiriladi. Elektr dvigatelning aylanish tezligi, flotatsiya rezervuarining hajmi, elektr dvigatel turi va materiallarning xususiyatlariga qarab o‘ndan yuzgacha qiymatda minutiga aylanadi. Gidrofob zarrachalar havo pufakchalariga yopishib, ularning yordamida yuzaga ko‘tariladi va hosil bo‘lgan ko‘pik doimiy ravishda flotatsiya rezervuaridan chiqarib tashlanadi. Gidrofil zarrachalar esa ko‘pik hosil qilmaydi va flotatsiya rezervuarining pastki qismiga cho‘kadi. Ideal flotatsiya jarayoni har bir noyob metall zarrachasi havo pufakchasiga to‘qnashib, unga yopishib qolganida va ko‘pik bilan chiqarilmaguncha ajralib ketmaganida yuzaga keladi. Jarayon davomida kollektorlar, depressantlar, ko‘pik hosil qiluvchilar va aktivatorlar kabi turli reagentlar qo‘llanilib, mineral ajratish samaradorligi oshiriladi.



1-rasm. Flotatsiya kamerasining sxematik ko‘rinishi



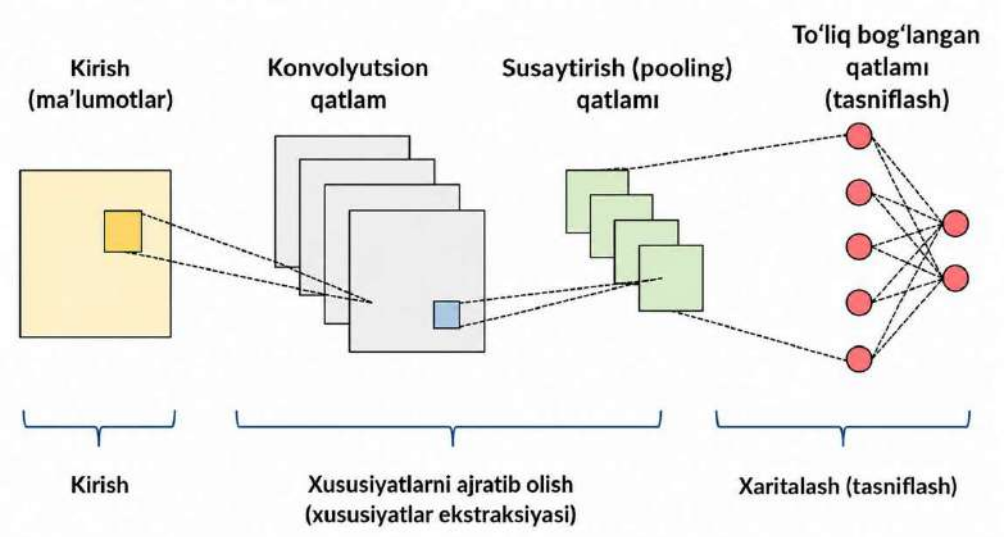
2-rasm. Real sanoat jarayonidan olingan flotatsiya jarayoni tasviri

MO‘ modeli yaratish uchun ko‘p sonli o‘zgaruvchilarni o‘z ichiga olgan ma’lumotlarni yig‘ish muhim hisoblanadi. Bunday o‘zgaruvchilarga flotatsiya

ISSN 3030-3907

rezervuariga berilayotgan pulpaning xususiyatlari (sarfi, nodir metall konsentratsiyasi, zarracha o‘lchamlarining darajasi), fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlar (suv sifati, jarayonda qo‘llaniladigan reagentlarning turlari va miqdori, flotatsiya muhitining harorati, pH qiymati, pufakchalar o‘lchami, aeratsiya darajasi) kiradi.

Havo pufakchalarining hajmi, tuzilishi va mustahkamligi flotatsiya jarayonining borishiga va unumdorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Agar pufakchalar juda katta bo‘lsa, ular tez yorilib, ularga yopishgan nodir metallar flotatsiya rezervuarining pastki qismiga cho‘kib, chiqindi sifatida ajratilishi mumkin. Flotatsiya jarayonida kollektorlar, depressantlar, ko‘pik hosil qiluvchilar va aktivatorlar kabi turli reagentlar qo‘llanilib, mineral ajratish samaradorligi oshiriladi.



3-rasm. Konvolutsion neyral tarmoq asosida rasm malumotlardan tasniflash sxemasi

Ko‘pik tasvirining tahlili flotatsiya jarayonini nazorat qilish tizimlarining asosiy qismi bo‘lib, jarayon holati, metal qayta olish samaradorligi va konsentrat sifati haqida real vaqt ma’lumotlarini ta’minlaydi. Biroq ko‘pik tasvirlarini tahlil qilish an’anaviy kompyuter ko‘rish usullari (GLCM-kulrang darajalar qo‘shma matritsasi.

LBP-mahalliy ikkilik tasvir, to‘lqinli o‘zgartirish) yordamida cheklangan aniqlikka ega bo‘lib, bu sohadagi tadqiqotchilarni yangi yondashuvlar izlashga undagan [2]. ChO‘ usullarining, xususan KNTning paydo bo‘lishi ushbu sohadagi burilish nuqtasi bo‘ldi.

Ko‘pik fazasi flotatsiya jarayonining eng murakkab va kam o‘rganilgan qismi hisoblanadi. Quintanilla va boshq. [3] ta’kidlaganidek, aksariyat mavjud modellar pulpa fazasiga qaratilgan, ko‘pik fazasi esa ko‘pincha e’tibordan chetda qolgan. Ko‘pik fizikasi –pufakchalarning birlashishi, suyuqlikning harakat qilishi va qattiq zarrachalar dinamikasi – juda murakkab hodisalar bo‘lib, ularni

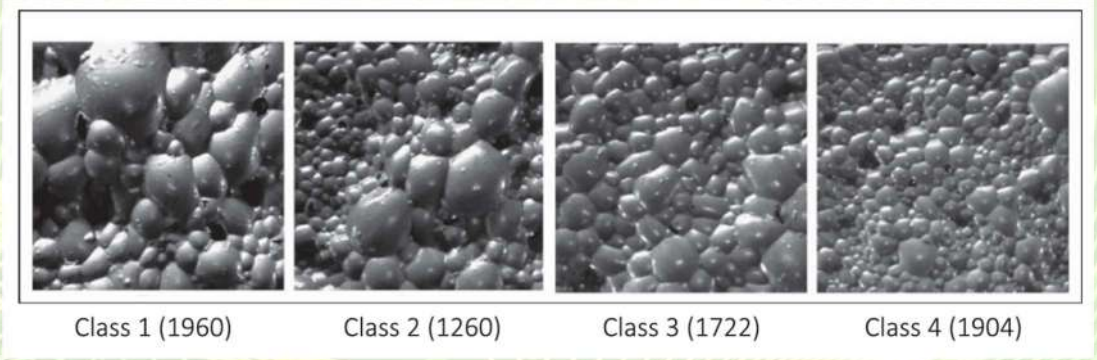
ISSN 3030-3907

modellashtirish hali yetarli darajada rivojlanmagan. Bu esa MO‘ yordamida ko‘pik fazasini modellashtirish uchun katta ilmiy bo‘shliq yaratadi.

Flotatsiya jarayonida paydo bo‘ladigan ko‘pik tasvirlarini tahlil qilish, xususan pufakchalar hajmi taqsimotini aniqlash, jarayon sharoitini baholashning asosiy vositasiga aylangan. Zhang & Xu [4] takidlaganidek, pufakcha hajmi taqsimoti flotatsiya samaradorligini aks ettiruvchi asosiy ko‘rsatkich bo‘lib, uni to‘g‘ri aniqlash jarayonni optimallashtirish uchun hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Flotatsiya jarayonidan hosil bo‘ladigan malumotlar va ularning xususiyatlari. Flotatsiya jarayonlarida turli xil ma’lumotlar hosil bo‘ladi va ular mashinali o‘qitish modellarining to‘g‘ri bashorat qilishiga xizmat qiladi. McCoy & Auret [5] ushbu ma’lumotlarni uch asosiy toifaga ajratgan: (1) jarayon datchiklari ma’lumotlari, (2) kompyuter ko‘rish tizimlari orqali olingan tasvirlar va (3) laboratoriya natijalari (kimyoviy tarkib, granulometrik tarkib). Sensor ma’lumotlari orasida havo sarfi, reagent dozasi, ko‘pik chuqurligi, pH, temperatura, nasoslar bosimi va boshqalar kiradi. Ushbu ma’lumotlar odatda yuqori chastota bilan (sekundiga bir necha o‘lchovlar) olinadi va katta hajmga ega. Biroq [5] tadqiqot ishida ta’kidlaganidek, sanoat ishlab chiqarish ma’lumotlari ko‘p hollarda nisbatan past aniqlikka ega, turli o‘lchov chastotalariga ega va yo‘qolgan qiymatlar, jarayon shovqinlari kabi muammolarni o‘z ichiga oladi.

Ko‘pik tasvirlari ma’lumotlari sifat jihatidan eng boy ma’lumot manbayi hisoblanadi, chunki ular bir vaqtning o‘zida pufakcha o‘lchami, rang, to‘qima, harakat va boshqa xususiyatlarni o‘zida aks ettiradi. Aldrich va boshq. [6] ta’kidlaganidek, ko‘pik tasvirlari klassik kompyuter ko‘rish usullari (GLCM, LBP, to‘lqinli transformatsiya) yoki chuqur o‘qitish usullari (KNT) yordamida tahlil qilinishi mumkin. Zamonaviy tendensiya KNT yondashuviga, xususan oldindan o‘qitilgan modelni moslashtirish usullariga o‘tishni ko‘rsatmoqda



3-rasm. Ko‘pik tasvirlarining har xil klasslarga ajratilib malumot sifatida KNT modeli uchun tasniflanishi

Laboratoriya ma’lumotlari (konsentrat sifati, metalni qayta olish foizi) eng yuqori aniqlikka ega, lekin ular odatda past doimiylik bilan olinadi (soatiga yoki kunda bir martadan) va ko‘p vaqt talab etadi. Bu past aniqlik mashinali o‘qitish

ISSN 3030-3907

modellarini o‘qitish uchun kam miqdordagi belgilangan ma’lumotlar hosil qiladi. Ushbu keltirilgan muammolarni Bendaouia va boshq. [7] va Fu & Aldrich [6] tomonidan ham ta’kidlab o‘tgan. Ko‘pik tasvirlari bilan real vaqt analizatorlarni birlashtirish bu muammoni qisman hal etishi mumkin, deb ta’kidlaydi.

Mashinali o‘qitish algoritmlarining flotatsiyada qo‘llanilishi. Flotatsiya jarayonlariga oid tadqiqotlarda qo‘llanilgan an’anaviy mashinali o‘qitish usullari orasida sun’iy neyron tarmoqlar (SNT), tasodifiy o‘rmon (TO‘) algoritmi, tayanch vektor mashinalari (TVM) hamda k-yaqin qo‘shni (kYQ) usuli muhim o‘rin egallaydi. [5] tadqiqot ishida ushbu algoritmlarning mineral boyitish jarayonlarida keng qo‘llanilishini ko‘rsatib, ayniqsa SNT larning texnologik ko‘rsatkichlarni bashorat qilishdagi samaradorligi yuqori ekanligini ta’kidlaydi. Zarie va boshqalar [8] tomonidan olib borilgan tadqiqotda SNT ko‘pik tasvirlarini tasniflashda taxminan 80 % aniqlikka erishgan bo‘lsa, KNT 93,1 % aniqlik ko‘rsatkichini qayd etgan. Bu natija ChO‘ usullarining tasvirlardan xususiyatlarni avtomatik ajratib olishdagi ustunligini ko‘rsatadi.

Bendaouia va hammualliflar [7] tadqiqotida TO‘, gradientli kuchaytirish (GK), SNT va TVM algoritmlarining natijalari KNT bilan taqqoslagan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, TO‘ algoritmida muhim xususiyatlarni tanlash orqali o’rtacha kvadratik xatolik (RMSE) 6,05 dan 5,40 gacha kamaytirilgan. Biroq chuqur o‘qitish va an’anaviy MO‘ usullarini birlashtirgan gibrid model eng yuqori natijani ko‘rsatib, determinatsiya koeffitsienti $R^2 = 0,94$ qiymatga erishgan.

TO‘ va GK algoritmlarining asosiy afzalliklari ularning natijalarini talqin qilishning nisbatan osonligi, kamroq hajmdagi ma’lumotlar bilan ishlay olishi hamda ortiqcha moslashish xavfining pastligi bilan izohlanadi. Shu bilan birga, ushbu algoritmlar tasvirlardan xususiyatlarni mustaqil ravishda o‘rganish imkoniyatiga ega emas. Natijada ularga xususiyatlar oldindan ajratib berilishi talab etiladi. KNTlar esa xususiyatlarni avtomatik aniqlash va o‘rganish qobiliyati tufayli ko‘pik tasvirlarini tahlil qilishda ancha yuqori natijalarni namoyish etadi.

Kelajakdagi istiqbolli yo‘nalishlar va xulosa. Tahlil qilingan barcha maqolalarda keltirilgan natijalar va aniqlangan bo‘shliqlar asosida kelajakdagi tadqiqotlar uchun quyidagi istiqbolli yo‘nalishlar belgilash mumkin.

Aldrich va boshq. [2] va Szmigiel va boshq. [1] ta’kidlaganidek, zamonaviy tendensiya statik tasvirlardan dinamik ko‘pik video ketma-ketligini tahlil qilishga o‘tishni ko‘rsatmoqda. 3D-KTN kabi arxitekturalar ko‘pik dinamikasini – pufakchalar birlashishi, ko‘pik yorilishi, ko‘pik hosil qilish tezligining o‘zgarishi – vaqt bo‘yicha tahlil qilishga imkon beradi. Ushbu yo‘nalish jarayon holati bashoratini sezilarli darajada yaxshilashi mumkin.

ISSN 3030-3907

O‘zbekiston mineral xomashyolarga boy mamlakat bo‘lib, mis, oltin, va boshqa foydali qazilmalarni boyitishda flotatsiya jarayoni keng qo‘llaniladi. Jumladan: Navoiy, Olmaliq, Qo‘ng‘irot va boshqa yirik kon-metallurgiya korxonalarida flotatsiya jarayoni nodir metallarni boyitishda foydalanilmoqda. Ushbu korxonalarda MO‘ va SI texnologiyalarini joriy etish bir necha muhim imkoniyatlarni ochib beradi.

Olmaliq Kon-Metallurgiya Kombinatining mis flotatsiya seksiyalarida Zarie va boshq. [8] yoki Bendaouia va boshq. [7] tomonidan ishlab chiqilgan KNT asosidagi ko‘pik tasviri tahlil tizimini joriy etish orqali real vaqt rejimida operatsion holat nazoratini amalga oshirish mumkin. Bu real vaqt ma’lumotlari operatorlarga jarayon samaradorligini doimiy monitoring qilish imkonini beradi. Bundan tashqari Navoi Kon-Metallurgiya Kombinatida (NKMK) oltin ajratib olishda flotatsiya jarayonlari uchun Szmigiel va boshq. [1] va McCoy & Auret [5] da ko‘rsatilgan MO‘ asosidagi bashorat modellari konsentrat sifati va metal qayta olish samaradorligini optimallashtirish uchun qo‘llanilishi mumkin. Bu esa energiya va reagent sarfini tejash imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Szmigiel, A., Apel, D.B., Skrzypkowski, K., Wojtecki, L., Pu, Y. (2024). Advancements in machine learning for optimal performance in flotation processes: A review. Minerals, 14(4), 331. https://doi.org/10.3390/min14040331.

2. Aldrich, C., Avelar, E., Liu, X. (2022). Recent advances in flotation froth image analysis. Minerals Engineering, 188, 107823. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107823.

3. Quintanilla, P., Neethling, S.J., Brito-Parada, P.R. (2021). Modelling for froth flotation control: A review. Minerals Engineering, 162, 106718. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106718.

4. Zhang, L., Xu, D. (2020). Flotation bubble size distribution detection based on semantic segmentation. IFAC PapersOnLine, 53(2), 11842–11847. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.696.

5. McCoy, J.T., Auret, L. (2019). Machine learning applications in minerals processing: A review. Minerals Engineering, 132, 95–109. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.12.004

6. Fu, Y., Aldrich, C. (2018). Froth image analysis by use of transfer learning and convolutional neural networks. Minerals Engineering, 115, 68–78. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.10.006

7. Bendaouia, A., Abdelwahed, E.H., Qassimi, S., Boussetta, A., Benzakour, I., Benhayoun, A., Amar, O., Bourzeix, F., Baïna, K., Cherkaoui, M., Hasidi, O. (2024). Hybrid features extraction for the online mineral grades determination in

ISSN 3030-3907

the flotation froth using Deep Learning. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 129, 107680. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107680.
8. Zarie, M., Jahedsaravani, A., Massinaei, M. (2020). Flotation froth image classification using convolutional neural networks. Minerals Engineering, 155, 106443. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106443.

ISSN 3030-3907