

KO‘P OQIMLI RUDA TAYYORLASH JARAYONLARIDA TEMPORAL MANTIQ ASOSIDA SIFAT MONITORINGI VA OPERATIV BOSHQARUV TIZIMINI TAKOMILLASHTIRISH

¹**Alimov Shoxriddin Muxammadovich,**

²**Temirova Hilola Rustamjon qizi,**

³**Kayirbayev Isa Baxtiyar o‘g‘li**

¹ODTI “Konchilik ishi” kafedrası v.v.b., dotsenti, (PhD).

²ODTI “Konchilik ishi” kafedrası magistranti.

³ODTI “Konchilik ishi” kafedrası magistranti.

alimov_shm@mail.ru, isakayirbayev@gmail.com +998935807440.

ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada boyitish fabrikasiga yuboruvchi ruda oqimlarining sifat va miqdoriy ko‘rsatkichlarini real vaqt rejimida monitoring qilish hamda operativ boshqarish masalalari tadqiq etilgan. Ruda tayyorlash jarayonlari ko‘p o‘lchamli, nostatsionar va to‘liq bo‘lmagan axborot sharoitida ishlovchi murakkab avtomatlashtirish obyekti sifatida ko‘rib chiqilgan. Tadqiqotda mavjud laboratoriya va avtomatlashtirilgan nazorat tizimlarining kamchiliklari tahlil qilinib, kiruvchi ruda oqimlarining xususiyatlarini maydalashdan keyingi chiqish oqimlari hamda vaqt bog‘liqliklari asosida aniqlash usuli taklif etilgan. Ushbu yondashuv Timed Interval Calculus (TIC) temporal mantiq apparati asosida ishlab chiqilgan bo‘lib, ruda oqimlarining diskret va uzluksiz holatlari o‘rtasidagi bog‘lanishni aniqlash imkonini beradi.

Kalit so‘zlari: *Ruda oqimi, boyitish fabrikasi, temporal model, Timed Interval Calculus, avtomatlashtirilgan monitoring tizimi, real vaqt tizimi, ruda sifati, ruda tayyorlash, operativ boshqaruv, ko‘p oqimli texnologik jarayon.*

АННОТАЦИЯ

В данной статье исследованы вопросы мониторинга и оперативного управления качественными и количественными показателями рудных потоков, направляемых на обогатительную фабрику, в режиме реального времени. Процессы подготовки руды рассмотрены как сложный объект автоматизации, функционирующий в условиях многомерности, нестационарности и неполноты информации. В ходе исследования проведён анализ недостатков существующих лабораторных и автоматизированных систем контроля, а также предложен метод определения характеристик входящих рудных потоков на основе параметров выходного потока после дробления и временных зависимостей. Данный подход разработан на основе

аппарата темпоральной логики *Timed Interval Calculus (TIC)* и позволяет устанавливать взаимосвязь между дискретными и непрерывными состояниями рудных потоков.

Ключевые слова: Рудный поток, обогатительная фабрика, темпоральная модель, *Timed Interval Calculus*, автоматизированная система мониторинга, система реального времени, качество руды, подготовка руды, оперативное управление, многопоточный технологический процесс.

ABSTRACT

This article investigates the issues of real-time monitoring and operational control of the qualitative and quantitative parameters of ore flows supplied to the processing plant. Ore preparation processes are considered as complex automation objects operating under conditions of multidimensionality, non-stationarity, and incomplete information. The study analyzes the shortcomings of existing laboratory and automated control systems and proposes a method for determining the characteristics of incoming ore flows based on the output flow parameters after crushing and temporal dependencies. This approach is developed on the basis of the Timed Interval Calculus (TIC) temporal logic framework and makes it possible to establish relationships between the discrete and continuous states of ore flows.

Keywords: Ore flow, processing plant, temporal model, *Timed Interval Calculus*, automated monitoring system, real-time system, ore quality, ore preparation, operational control, multi-stream technological process.

KIRISH

Boyitish fabrikasiga kirib keladigan texnologik jarayon tog‘-kon va qayta ishlash korxonasida uning temiryo‘l vagonlaridan qabul qilish bunkerlariga tushirilishi va boyitish jarayoniga mos holatgacha maydalanishi bilan boshlanadi. Bugungi kunda turli uchastkalardan keladigan rudalarni qayta ishlashning ko‘p oqimli sxemalarida kiruvchi ruda oqimlarining xususiyatlarini operativ rejimda nazorat qilish deyarli juda murakkab hisoblanadi.

Avtomatlashtirish obykti sifatida ko‘rilganda, ruda aralashmasini qayta ishlashning ko‘p komponentli oqimlari texnologik jarayoni ko‘p o‘lchamli, nostatsionar boshqaruv obykti bo‘lib, u to‘liq bo‘lmagan axborot sharoitida ishlaydi hamda o‘zgaruvchan texnologik vaziyat va tashqi buzuvchi omillar mavjudligida tezkor boshqaruvni talab qiladi. Ruda yetkazib berish jarayoni 1-rasmida keltirilgan.

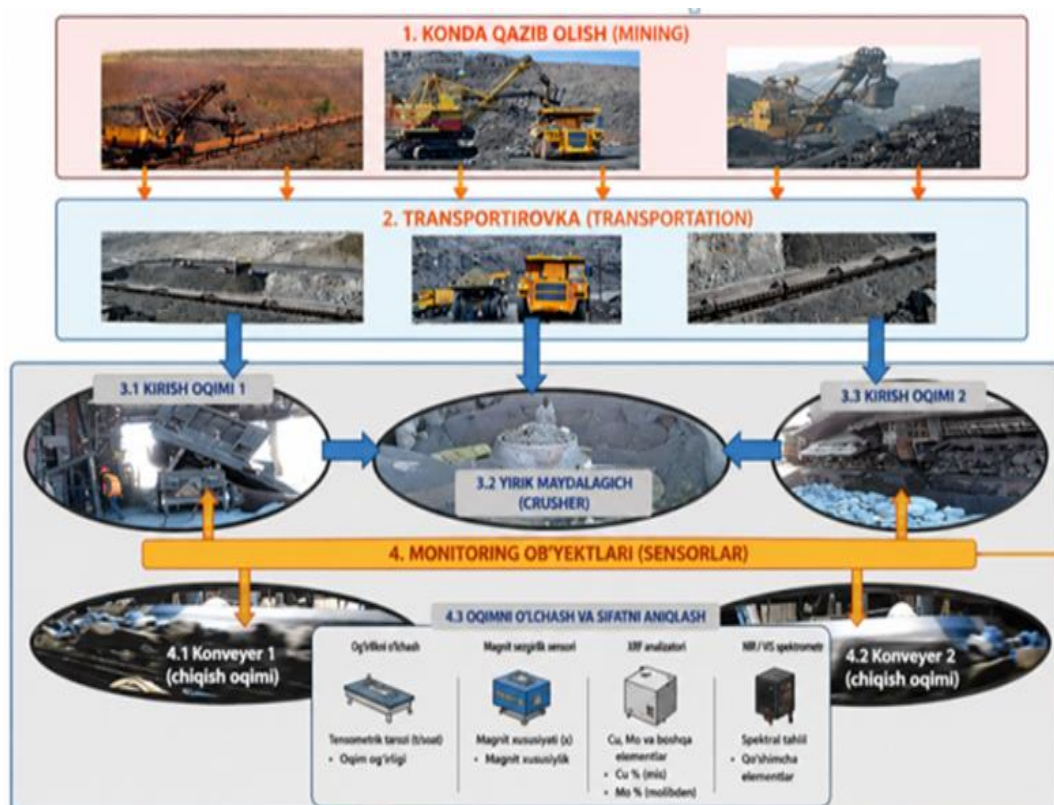
Hozirgi ruda tayyorlash jarayonlarini operativ boshqarish tizimlarida quyidagi kamchiliklar mavjud:

- kiruvchi qayta ishlanayotgan ruda material oqimlarining sifat ko‘rsatkichlarini operativ o‘zgarishi boshqaruv qarorlariga ta’sirini hisobga olmaslik;

• ruda tayyorlash texnologik jarayonlari natijalariga operatorlar – texnologlarning kasbiy darajasi va inson omilining sezilarli ta’siri.

Ruda tayyorlash bosqichida eng muhim ishlab chiqarish-tahliliy vazifalardan biri har bir karyerdan temiryo‘l transporti orqali kelayotgan rudaning hajmi va sifatini real vaqt rejimida onlayn baholash hisoblanadi [1]. Bu keyingi texnologik bosqichlarning samaradorligini belgilaydi.

Shuni ta’kidlash kerakki, bunday baholarni real vaqt rejimida olish diagnostik kirish nazorati tizimi sharoitida oson vazifa emas. Buning asosiy sababi — katta bo‘lakli (1200 mm gacha) ruda oqimining boyitish fabrikasiga kirish vaqtida uning sifat va massa-hajm ko‘rsatkichlarini ishonchli real vaqt o‘lchashdagi qiyinchiliklardir.



1-rasm. Karyerlarda yuk oqimini monitoring qilish sxemasi.

Laboratoriya ma'lumotlari va karyerda amalga oshiriladigan geodezik o'lchovlardan foydalanish ham samarali emas, chunki o'lchovlar orasidagi vaqt oralig'i katta bo'lib, ruda sifatini karyer va boyitish fabrikasida baholash natijalari o'zaro farq qiladi. Shunday qilib, mavjud metodologiya, dasturiy ta'minot va texnik vositalar ko'p oqimli boyitish fabrikalariga kiruvchi ruda oqimlarining sifat va miqdoriy xususiyatlarini real vaqt rejimida ishonchli o'lchash imkonini bermaydi. Shu sababli ushbu maqola doirasida kiruvchi oqimlarning sifat va miqdoriy xususiyatlarini katta maydalashdan keyingi chiqish oqimi o'lchovlari asosida vaqt (temporal), mantiq paradigmasi yordamida aniqlash imkoniyati o'rganilgan.

Vaqt mantiqlari hodisalarni tavsiflashning kuchli vositasi bo‘lib, real vaqt tizimlarini ifodalashda katta ifoda imkoniyatiga ega [2]. Ruda oqimlarining hajmi va sifatini baholashda, katta maydalash jarayonining kirish va qayta ishlash vaqt xususiyatlarini hisobga olgan holda bu oqimlarning xususiyatlarini yuk tushirish jarayonining xronologiyasi hamda maydalashdan keyingi chiqish oqimining sifat va miqdoriy ko‘rsatkichlari asosida qayta tiklash mumkin.

Bunda temporal model quyidagi jihatlarni hisobga oladi:

- real boshqariladigan jarayon tomonidan belgilangan vaqt cheklovlari sharoitida yechim olish zarurati;
- muammoni tavsiflash va yechim topish jarayonida vaqt omilini hisobga olish zarurati;
- qaror qabul qilish uchun zarur barcha obyektiv ma’lumotlarni olishning imkonsizligi va shu sababli ekspert (subyektiv) ma’lumotlardan foydalanish;
- vaqt bo‘yicha o‘zgarib boradigan katta hajmdagi ma’lumotlardan foydalanish zarurati (sensorlar ko‘rsatkichlari, operator harakatlari va boshqalar).

Ruda tayyorlashning temporal tavsifi

Yuqorida ta’kidlanganidek, boyitish fabrikasiga kirib kelayotgan ruda oqimlarining sifat va miqdoriy xususiyatlarini real vaqt rejimida va amaliyot uchun zarur aniqlikda bevosita ishonchli o‘lchash juda murakkab muammo hisoblanadi. Shu sababli, bu xususiyatlarni chiqish oqimi bo‘yicha tegishli hisob-kitoblar orqali aniqlash imkoniyati ko‘rib chiqiladi. Biroq, kirish oqimlarini boshqarish muammosini yagona yechimga ega bo‘lishi uchun quyidagi qo‘shimcha vaqtga oid ma’lumotlar zarur: oqimlarning boyitish jarayoniga kirish momentlari, ularning maydalash kompleksidagi harakat dinamikasi hamda maydalashdan keyingi integrallashgan chiqish oqimini o‘lchash xronologiyasi [1, 2]. Bunday vaqtga oid ma’lumotlar majmuasi kirishdagi ruda massasi hajmi va sifatini nazorat qilish muammosining yagona yechimga ega bo‘lishini ta’minlaydi va u maydalashning texnologik sxemasi bilan belgilanadi.

Ushbu sxemaga muvofiq, o‘lchami 1200 mm gacha bo‘lgan yirik bo‘lakli ruda turli karyerlardan temiryo‘l orqali (105 tonna yuk ko‘taruvchi dumpkarlar) kelib qabul bunkerlarga tushiriladi [4, 5]. Har bir qabul bunkeridan chiqqan ruda 350–400 mm gacha maydalangan holda ikkinchi maydalash bosqichiga uzatiladi, bu bosqichda ruda 22 mm dan kichik o‘lchamgacha maydalanadi. Ikkinchi bosqich mahsuloti keyingi qayta ishlash uchun lenta konveyerlarga yuboriladi. Shunday qilib ΔT vaqt oralig‘ida turli karyerlardan kelgan vagonlarning diskret oqimlari maydalashdan so‘ng yagona uzluksiz ruda oqimiga aylanadi va bu oqimning lahzaviy massa hamda sifat ko‘rsatkichlarini yetarli aniqlik va ishonchlikda o‘lchash mumkin bo‘ladi. ΔT

vaqt oralig‘i ruda massasining harakat tezligini va uning sifat hamda miqdoriy ko‘rsatkichlari o‘lchanadigan nuqtaga yetib kelish jarayonini ifodalovchi turli hodisalarni o‘z ichiga oladi. Natijada kirishdagi diskret oqim birliklari va chiqishdagi uzluksiz oqim segmentlari o‘rtasida moslik o‘rnatiladi.

Ruda tayyorlashning temporal modeli

Ruda tayyorlashning temporal modelini qurish va uning asosida boyitish fabrikalarida kirishdagi diskret oqimlardan ma‘lum bir vagonning chiqish oqimidagi tegishli ruda segmentini aniqlash uchun Timed Interval Calculus (TIC) apparati qo‘llaniladi.

TICning asosiy elementlari quyidagi tushunchalarni belgilaydi:

- Vaqt sohasi (T). T — manfiy bo‘lmagan haqiqiy sonlar to‘plami bo‘lib, interval vaqt nuqtalari ketma-ketligidir. Masalan, $[x \dots y]$ intervali quyidagicha aniqlanadi:

$$\forall x, y : R^*[x \dots y] = \{ z:T \mid x \leq z \leq y \}$$

- Konstantalar. Masalan, maksimal og‘irlik (MaxWeight) R haqiqiy son sifatida ifodalanadi:

- Vaqt belgisi (trace). Bu vaqt sohasi bo‘yicha o‘zgaruvchi funksiyadir. Masalan, konveyerdagi ruda og‘irligi: O‘girlik: $T \rightarrow R$

- Interval operatorlari. Uchta asosiy operator mavjud: α, ω, σ ular $I \rightarrow T$ tipiga ega bo‘lib, mos ravishda intervalning boshlanish nuqtasi, tugash nuqtasi va uzunligini qaytaradi.

- Interval qavslar. Interval ichidagi predikat asosida aniqlangan barcha intervallarni qaytaradi. Masalan: $[\text{Weight}(\alpha) \leq \text{Weight}]$ bu — interval boshidagi qiymatdan kichik bo‘lmagan qiymatni bildiradi.

- Qoidalar. Qoidalar interval xususiyatlarini va ularning o‘zaro bog‘liqligini belgilaydi.

Monitoring tizimini amalga oshirish

Yuqorida keltirilgan temporal mantiq qoidalarining amaliy qo‘llanilishi temir rudasi boyitish fabrikasi (EF) kirishidagi ruda oqimlarini monitoring qilish tizimini ishlab chiqishda amalga oshirildi [5]. Monitoring tizimi Siemens ning dublikatlangan kontrolleri asosida qattiq real vaqt tizimlari tamoyillarini hisobga olgan holda ishlab chiqildi va kontrollerning operatsion muhitining umumiy algoritmi bilan birlashtirilgan funksional to‘liq dasturiy bloklar ko‘rinishida amalga oshirildi. Ushbu bloklarning funksional tavsifi matnda keyinroq berilgan.

Real vaqt sharoitida o‘tkazilgan tajribalar shuni ko‘rsatdiki taklif etilgan ilmiy-texnik yechimlar maydalash bo‘limiga kirayotgan ruda sifat va miqdoriy ko‘rsatkichlarini monitoring qilish samaradorligini oshiradi hamda ruda tayyorlash va

boyitish jarayonlarini operativ boshqarish uchun obyektiv ma'lumotlar shakllanishini ta'minlaydi.

Taklif etilgan yondashuv laboratoriya usullari bilan solishtirildi:

- laboratoriya usuli aniq, lekin real vaqt emas;
- mavjud real vaqt tizimlari (OCS) har bir oqim uchun alohida qurilma talab qiladi.

Bu esa juda qimmatga tushadi (har biri bir necha yuz ming dollar).

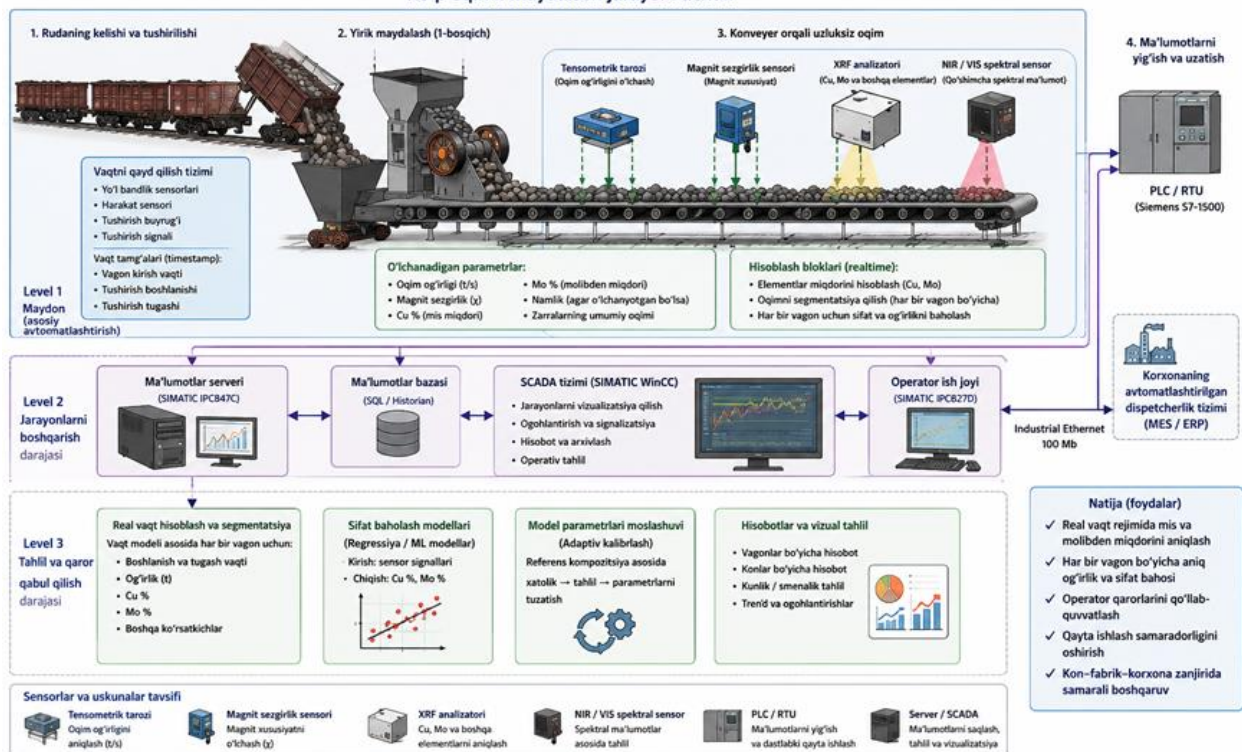
Taklif etilgan tizim esa:

- ko'p oqimli jarayon uchun faqat bitta OCS dan foydalanadi,
- xarajatlarni sezilarli kamaytiradi,
- iqtisodiy jihatdan samaraliroq hisoblanadi.

Taklif etilgan kiruvchi ruda sifatini boyitish fabrikasida boshqarish texnologiyasi qayta ishlanayotgan ruda oqimlarini operativ monitoring qilish uchun kompyuterlashtirilgan tizimning asosini tashkil etadi. Kiruvchi ruda oqimlarining hajm, og'irlik va sifat ko'rsatkichlarini o'lchash yirik maydalash blokining chiqish konveyerlarida o'rnatilgan sensorlar yordamida amalga oshiriladi, bu yerda alohida mobil ruda tashuvchi birliklarning rudasi integratsiyalanadi. Yirik maydalash jarayonining chiqishida ruda oqimi allaqachon uni tortish va sifat parametrlarini o'lchash imkonini beruvchi xususiyatlarga ega bo'ladi. Har bir konveyerda ushbu o'lchovlarni bajarish uchun tenzometrik tarozilar va magnit sezgirlik sensorlari o'rnatilgan. Kirish ruda oqimi xususiyatlarining dinamik modelini qurish uchun yirik maydalash operatsiyasidan keyingi ruda xususiyatlari modeli hamda ruda tashuvchilar harakati va vagonlarning tushirilishining xronologik boshqaruviga asoslangan bunkerga ruda tushirishning temporal modeli ishlab chiqiladi.

Ruda tayyorlash kompleksiga kiruvchi ruda oqimining sifat va miqdoriy ko'rsatkichlarini operativ boshqarish tizimining tuzilmasi 2-rasmda ko'rsatilgan. Kompyuterlashtirilgan kiruvchi ruda sifatini operativ monitoring qilish tizimi ko'p darajali avtomatlashtirish tizimi sifatida yaratilgan bo'lib, unda apparat vositalarining zaxiralangan (redundant) tuzilmasi mavjud va ishlayotgan kontrollerlardan zaxira kontrollerlarga tez, avtomatik va uzluksiz o'tish imkoniyatini ta'minlagan. Asosiy apparat platformasi sifatida sanoatda keng qo'llaniladigan Siemens dasturlanadigan mantiqiy kontrollerlari (PLC) ishlatiladi. Ushbu kontrollerlarning yagona interfeyslari va kuchli ishlab chiqaruvchi dasturiy ta'minoti tizimni modulli kengaytirish imkonini beradi hamda kelajakda yangi texnik vositalarni qo'llash orqali tizimni modernizatsiya qilishga sharoit yaratadi.

**Mis-molibden rudalari uchun real vaqt rejimida sifat monitoring tizimi (RKS-KM adaptatsiyalangan)
Ko'p oqimli maydalash jarayoni uchun**



2-rasm. Mis-molibden ruda konlari uchun real vaqt rejimida sifat monitoring tizimi

Avtomatlashtirish tizimi uchun Simatic S7 417-5H CPU zaxiralangan kontrolleri ET 200M masofaviy I/O stansiyalari bilan qo'llaniladi.

Unda monitoring vazifasining quyidagi asosiy funksiyalari amalga oshiriladi:

- yirik maydalashdan keyingi ruda aralashmasi oqimining xususiyatlarini nazorat qilish va o'lchash;
- tushirish zonasi holati va xronologiyasini tahlil qilish mantiqi;
- yirik maydalash operatsiyasidan keyingi ruda massasining sifat va hajm oqimi bo'yicha axborot modelini shakllantirish, uni segmentlarga ajratish va kiruvchi ruda oqimi vaqt oraliq'i bilan bog'lash;
- ogohlantirish va signalizatsiya tizimi.

Kompyuterlashtirilgan tizimning yuqori darajasida ma'lumotlar serveri va foydalanuvchi ishchi stansiyalari o'rnatilgan bo'lib, ular 100 Mbit/s tezlikdagi Industrial Ethernet lokal tarmog'i orqali bog'langan hamda korxonaning avtomatlashtirilgan dispetcherlik boshqaruv tizimiga ulanish imkoniga ega.

Ishchi stansiyalar va ma'lumotlar serveri sifatida SIMATIC IPC847C sanoat dizaynidagi maxsus shaxsiy kompyuterlar qo'llaniladi. Tushirish operatorining ish joyida SIMATIC IPC627D o'rnatilgan sanoat embedded kompyuteri ishlatiladi.

Operator darajasida quyidagi interfeys qo'llab-quvvatlanadi:

- ishchi stansiyalar mnemonik diagrammalarida ma'lumotlarni ko'rsatish;

- texnologik nosozliklar va avariylar uchun yorug‘lik signalizatsiyasi;
- tizimning texnik vositalari holatini ko‘rsatish;
- boshqaruv sozlamalari va nazorat parametrlarini o‘zgartirish;
- jarayon parametrlarini arxivlash uchun ma‘lumot manbai;
- parol orqali tizim funksiyalariga kirishni ruxsatlash.

Tizimning dasturiy asosida Siemens va Microsoft vositalari qo‘llaniladi:

- SIMATIC PCS 7, V8.2 ishlab chiqish muhiti;
- SIMATIC WINCC V7.3, RT 2048 (2048 tashqi o‘zgaruvchi), SCADA tizimlari uchun ijro dasturiy ta‘minot, yagona litsenziya;
- ma‘lumotlar serveri va ishchi stansiyalarda operatsion tizim sifatida Windows 7 64-bit SP1 ishlatiladi.

Kiruvchi ruda oqimlari xususiyatlarini operativ baholash natijalariga va qayta ishlanayotgan ruda turiga muvofiq, maydalash va maydalashdan keyingi butun zanjir bo‘yicha boshqaruv qarorlari qabul qilinadi hamda konchilik va qayta ishlash jarayonlari o‘rtasida iqtisodiy samarali o‘zaro aloqani ta‘minlovchi obyektiv axborot bazasi yaratiladi. Ruda tayyorlash jarayonlarining avtomatlashtirish obyekti sifatidagi murakkabligi yuqorida qayd etilgan. Ularga xos xususiyat — o‘lchanmaydigan tashqi buzuvchi omillar (minerallarning fizik-kimyoviy va sirt xossalari, maydalagich qoplamasining holati va boshqalar) ta‘siri ostida ishlashdir. Bunday sharoitlarda kiruvchi ruda xususiyatlari operativ modelining adekvatligini baholash va uning parametrlarini o‘z vaqtida tuzatish muhim ahamiyatga ega. Kiruvchi ruda sifat baholarining real xususiyatlarga mosligini tekshirish uchun standart vagon tarkiblari shakllantiriladi va qayta ishlashga yuboriladi. Bu tarkiblarda har bir vagon uchun va butun tarkib bo‘yicha ruda og‘irligi, foydali komponent miqdori, kon, vagonlar soni va boshqalar aniqlanadi. Standart tarkibni qayta ishlash jarayonida avtomatlashtirilgan kiruvchi ruda monitoring tizimi tomonidan aniqlangan xususiyatlar dastlabki (referent) ma‘lumotlar bilan solishtiriladi.

Monitoring natijalarining adekvatlik ko‘rsatkichi — olingan bahoning referent qiymatdan og‘ish moduli hisoblanadi. Ushbu ishda boyitish fabrikasiga kirib kelayotgan ruda oqimlarining sifat va miqdoriy ko‘rsatkichlarini real vaqt rejimida aniqlash va boshqarish muammosi ko‘rib chiqildi. An’anaviy laboratoriya o‘lchovlari va mavjud avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari ko‘p oqimli, murakkab va nostatsionar texnologik jarayonlarda yetarli darajada tezkor hamda ishonchli axborot bera olmaydi. Bu esa ishlab chiqarish jarayonlarini operativ boshqarishda sezilarli cheklovlar keltirib chiqaradi. Shu nuqtayi nazardan, kiruvchi ruda oqimlarining xususiyatlarini bevosita o‘lchash o‘rniga, ularni maydalash jarayonidan keyingi chiqish oqimlari va vaqt (temporal) bog‘liqliklar asosida qayta tiklash yondashuvi

taklif etildi. Ushbu yondashuv Timed Interval Calculus (TIC) kabi temporal mantiq apparatlariga asoslanib, ruda oqimlarining diskret va uzluksiz holatlari o'rtasida matematik bog'lanish o'rnatishga imkon beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Chanturiya V.A., Innovatsionnye protsessy v tekhnologiyakh pererabotki mineralnogo syrya slozhnogo veshchestvennogo sostava // GIAB. – 2009. – № 12. – T. 15. – S. 9–25
2. Dremukha, A.S., Ershov V.V. Matematicheskie osnovy prognozirovaniya geologicheskikh pokazateley pri dobyche rud // Nauchnye osnovy sozdaniya vysokoproizvoditelnykh kompleksno-mekhanizirovannykh rudnikov: nauchnye trudy MGI. – Moskva, 1978. – S. 132–136.
3. Alimov Sh.M., Melnikova T.Y., Kayirbayev I.B. Yoshlik-I konida portlatish ishlari ko'rsatgichlarini yaxshilash maqsadida qiya skvajinalardan foydalanishning afzalliklari. *Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. ISSN: 2181-1784 2024.*
4. Alimov Sh.M., Ahmadov U.A., Kayirbayev I.B. Portlatish ishlarida detonatorni skvajinadagi zaryadning maqbul ko'rsatgichlariga joylashtirish orqali tog' jinslarining maydalanish darajasini oshirish. *Sanoatda raqamli texnologiyalar. ISSN: 3030-3214 2025.*
5. Алимов Ш.М., Ташкулов А.А. “Обоснование оптимальных параметров эффективного регулирования степени дробления”. *Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences VOLUME 2 | ISSUE 5/2 ISSN 2181-1784. May 2022 стр 475-487.*