

TOG'LI HUDUDLARDAGI RUDA KONLARNI OCHIQ-YER OSTI USULIDA QAZIB OLISHDA KONTURORTI ZAHIRALARINI OCHISH TIZIMI VARIANTLARINI ASOSLASH



Misliboev I.T.,
Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti, t.f.d.,
professor



Mutavaliyev A.T.,
TTMI "Foydali qazilma konlarni
qazish" kafedrasi mudiri, t.f.n.



Tadjiyev Sh.T.,
Navoiy davlat konchilik va texnologiya-
lar universiteti, PhD., dotsent

Annotatsiya: Maqolada tog'li hududlardagi ruda konlarini ochiq-yer osti usulida qazib olish sharoitida kontur zahiralarni o'zlashtirish samaradorligini oshirish masalalari ko'rib chiqilgan. Tadqiqotning dolzarbligi karer konturidan tashqarida joylashgan zahiralarni murakkablashib borayotgan kon-geologik va kon-texnik sharoitlarda qazib olish zarurati bilan izohlanadi. Karer maydonidan kontur va konturidan tashqaridagi zahiralarni o'zlashtirishda asosiy ochuvchi element sifatida foydalanish imkoniyatlari tahlil qilingan. Karer maydonidan ochuvchi lahimlar joylashtirish va rudani tashish uchun foydalanish kapital kon ishlari hajmini kamaytirishi, zahiralarni ekspluatatsiyaga kiritish muddatlarini qisqartirishi hamda kombinatsiyalashgan qazib olishning iqtisodiy samaradorligini oshirishi ko'rsatib berilgan.

Ishda zahiralarning karer elementlariga nisbatan joylashuvi, ularning yotish chuqurigi va qabul qilingan transport sxemasiga bog'liq holda ochishning mumkin bo'lgan texnologik sxemalari qiyosiy tahlil qilingan. Stvol, qiya va gorizontal lahimlar hamda karer maydonidan foydalanilgan holda kontur va konturidan tashqaridagi zahiralarni ochish variantlari ishlab chiqilib, tizimlashtirilgan. Har bir variant uchun kon-geologik sharoitlar, karer parametrlari va ishlarni xavfsiz olib borish talablari hisobga olingan holda ularning ratsional qo'llash sohalari aniqlangan. Olingan natijalar tog'li hududlardagi ruda konlarini ochiq-yer osti usulida qazib olishda ochish tizimlarini loyihalash va optimallashtirishda qo'llanishi mumkin.

Kalit so'zlar: Tog'li hududlardagi ruda konlari, ochiq-yer osti usulida qazib olish, karer maydoni, karer konturidan tashqaridagi zahiralalar, ochish sxemalari, stvol, bortori zahiralalar.

ОБОСНОВАНИЕ ВАРИАНТОВ СИСТЕМЫ ВСКРЫТИЯ ЗАКОНТУРНЫХ ЗАПАСОВ ПРИ ОТКРЫТО-ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ

Мислибоев И.Т.¹, Мутавалиев А.Т.², Таджиев Ш.Т.¹

Навоийский государственный горно-технологический университет, Республика Узбекистан

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности освоения рудных месторождений в горных районах за счёт обоснования вариантов системы вскрытия контурных запасов при открыто-подземной разработке. Актуальность исследования обусловлена необходимостью вовлечения в отработку запасов, расположенных за пределами карьерного контура, в условиях усложняющихся горно-геологических и горно-технических факторов. Особое внимание уделено анализу возможностей использования карьерного поля в качестве основного вскрывающего элемента при разработке контурных и контурных за пределами карьера запасов. Показано, что применение карьерного пространства для размещения вскрывающих выработок и транспортирования руды позволяет снизить объёмы капитальных горных работ, сократить сроки ввода запасов в эксплуатацию и повысить экономическую эффективность комбинированной разработки.

В работе выполнен сравнительный анализ возможных технологических схем вскрытия в зависимости от пространственного положения запасов относительно элементов карьера, глубины их залегания и принятой транспортной схемы. Разработаны и систематизированы варианты вскрытия контурных и законтурных запасов с использованием стволов, наклонных и горизонтальных выработок, а также карьерного поля. Для каждого варианта определены области рационального применения с учётом горно-геологических условий, параметров карьера и требований к безопасности ведения работ. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и оптимизации систем вскрытия рудных месторождений, разрабатываемых открыто-подземным способом в горных районах.

Ключевые слова: рудные месторождения горных районов, открыто-подземная разработка, карьерное поле, запасы за пределами контура карьера, схемы вскрытия, ствол, бортные запасы.

JUSTIFICATION OF OPTIONS FOR THE SYSTEM OF OPENING UP CONTOUR RESERVES IN OPEN-PIT AND UNDERGROUND DEVELOPMENT OF ORE DEPOSITS IN MOUNTAIN AREAS

Misliboev I.T.¹, Mutavaliyev A.T.², Tadiyev Sh.T.¹

¹ Navoi State University of Mining and Technologies, Republic of Uzbekistan

² TTMI, Republic of Uzbekistan

Abstract. The paper addresses the issues of improving the efficiency of ore deposit development in mountainous regions by substantiating options for accessing contour reserves under open–underground mining conditions. The relevance of the study is driven by the need to involve reserves located beyond the open-pit contour in mining under increasingly complex mining and geological as well as mining and technical conditions. Particular attention is paid to analyzing the feasibility of using the open-pit area as the main access element for the development of contour and off-contour reserves. It is shown that the use of the pit space for locating access workings and ore transportation makes it possible to reduce the volume of capital mine workings, shorten the time required to bring reserves into operation, and improve the economic efficiency of combined mining.

The study provides a comparative analysis of possible technological access schemes depending on the spatial position of reserves relative to pit elements, their depth of occurrence, and the adopted transportation system. Various options for accessing contour and off-contour reserves using shafts, inclined and horizontal workings, as well as the open-pit area, are developed and systematized. For each option, areas of rational application are identified with due regard to mining and geological conditions, pit parameters, and safety requirements. The obtained results can be applied in the design and optimization of access systems for ore deposits developed by open–underground mining methods in mountainous regions.

Keywords: ore deposits in mountainous regions, open–underground mining, open-pit field, reserves beyond the open-pit contour, access schemes, shaft, side (pit wall) reserves.

Ochish, konni sanoat miqyosida o'zlashtirishning muhim bosqichi hisoblanadi va ishchi gorizontlar bilan kon massasini qabul qilish punktlari o'rtasidagi kon lahimlari majmuasi va transport kommunikatsiyalari bilan xarakterlanadi [1, 2, 3]. Tanlangan ochish sxemasi, transport turi va kon massasini tashish narxini belgilaydi. Katta tarqalish chuqurligiga ega bo'lgan qiya yoki tik-qiya joylashgan katta qalinlikdagi ruda tanalarining ko'pchiligi ochiq-yer osti usulida qazib olinadi. Bunda transport xarajatlari umumiy qazib olish xarajatlarning asosiy qismini tashkil etadi [4, 5, 6].

Karer konturi ortidagi zahiralarni ochish uchun karer maydonidan foydalanish, rudnikni an'anaviy usullar yordamida qurish bilan solishtirganda rudnikning qurilish muddatini 1-3 yilga qisqartiradi va 7-9% qo'shimcha foyda olish imkonini berishi [7, 8, 9] isbotlangan.

Konni qazib olishning o'ziga xosligi shundaki, karerning konturorti zahiralarni ochishning asosiy lahimi karer maydoni hisoblanadi. Yordamchi (qo'shimcha) ochuvchi lahim sifatida, bortorti zahiralarni ochishda shtolnyalardan, karer osti va bortorti zahiralarni ochish uchun karer tubidan o'tilgan qiya transport s'ezdlari, vertikal va qiya stvollaridan foydalaniladi.

Ochiq-yer osti qazib olish texnologiyasini qo'llagan holda tog'li hududlardagi konlarni ochish bir qator afzalliklarga ega: o'zida mustaqil ochuvchi lahimni aks ettirgan karer maydonining mavjudligi; kon ishlari ta'siri ostida massivning deformatsiyalanish jarayonida ishtirok etuvchi zonalarining kattalashgan o'lchamlari; zahiralarni qazib olish bo'yicha taqsimlashning konni qazib olishni qabul qilingan tartibiga bog'liqligi.

Karer qazib olishning yaqinligi, ochiq usulda ochishning asosiy sxemasi bo'yicha s'ezd o'tishdan voz kechish imkonini, bloklarni tayyorlash va qirqishni sezilarli tarzda soddalashtiradi, xarajtlarni pasaytiradi, tog' jinslari va rudalarni karerdan chiqarib berishni tashkil etadi, ishni yakunlashga qadar odamlar va materiallarni yetkazish imkonini beradi.

Vaqt yetishmovchiligi sharoitlarida qurilish muddatini 1-2 yil va undan ortiq muddatga qisqartirishga erishish, kon-kapital ishlarini karer maydonidan foydalangan holda tashkil etilganda boshqa qazib olish usuliga o'tish tufayli konni qazib olishda uzilish bo'lish ehtimolini bartaraf etish mumkin. O'tish ishlarini karerda joriy etish, odatda ketma-ketlikda amalga oshiriladigan stvollarini qurish va gorizont lahimlarni o'tishni vaqt bo'yicha birlashtirish imkonini beradi. Karer maydonining mavjudligi shuningdek, konturorti zonalarini bloklarda tayyorlash va qirqish ishlarini, ba'zi hollarda esa ochish ishlarini tashkil etishni ta'minlaydi.

Maydonchalar (bermalar, s'ezdlar, ularning juftliklari), drenaj lahimlarining (shtolnyalar, ukonlar, stvollar) mavjudligi, kon lahimlarini o'tishdagi qoplovchi tog' jinslari va tozalash bloklaridan chiqqan rudalarni karerga joylashtirish imkoniyati, ochishning asosiy sxemasi bo'yicha ishlar va olis uchastkalardagi qazish ishlariga bog'liq bo'lmaganligi yer osti rudnigi gorizontlarini qurish va konturorti zahiralarni o'zlashtirishning qulay shartlari hisoblanadi.

Karer maydonidan foydalanish, qo'shimcha lahimlar (shtolnyalar, s'ezdlar) o'tish va qurish (qayta yuklash va bo'shatish uzellarini, kompressor, ventilator, elektr tarmoqlarini) zaruriyati bilan bog'langan.

Karerdan yer osti kon lahimlarini joylashtirish uchun maydon tanlash unchalik qiyinchilik tug'dirmaydi. Ularni, iloji boricha loyihaga muvofiq gorizont belgilari darajasida chegara holatida o'rnatilgan bortdagi uchastkalarda va shtolnya, s'ezdlarning og'zi yaqinida atmosferaning xavfliligi va changlanishi tufayli karer transportlarining jadal harakatlanish zonasidan tashqarida joylashtirish maqsadga muvofiq. O'tuvchi lahimlarni joylashtirish o'rni tanlashda, energiya va suv bilan qulay ta'minlash imkoniyati hisobga olinadi.

Yuqorida keltirilganlarga asoslangan holda, konturorti zahiralarni ochish variantlarini loyihalash quyidagi fikrlarga asoslanadi:

1. Xavfsizlik qoidalariga talablariga rioya etish ta'minlanadi.

2. Loyihalash yagona loyiha diorasiida amalga oshiriladi. Ushbu yagona loyiha, loyihaning barcha bosqichlarida kon zahiralarni qazib olishning quyidagi talablarini inobatga oladi: yer yuzasida ag'darmalarni ratsional joylashtirish, yer osti ochuvchi lahimlarini joylashtirish joyida bermalarni qoldirish, bort qiyaliklarini normativ turg'unlik bilan shakllantirish, yer osti usulida qazib olish bosqichida yer yuzasidagi texnologik, yordamchi sexlar va ma'muriy-maishiy komplekslardan foydalanish imkoniyatini ta'minlash.

3. Berilgan ishlab chiqarish dasturlarini ta'minlash.

4. Variantlarni shakllantirish karer maydonidan foydalanish belgilari bo'yicha amalga oshiriladi.

Ochiq-yer osti usulida qazib olinuvchi tog'li hududlardagi konlarning kon-geologik va kon-texnik sharoitlarining xilma-xilligi va o'ziga xosligiga qaramasdan, ishda, yuqorida keltirilgan variantlarga muvofiq ochishning mumkin bo'lgan texnologik sxemalarini ishlab chiqish va ular misolida, ulami ratsional qo'llash sohalarini belgilash mumkinligi keltirilgan.

Tog'li hududlardagi ruda konlarni ochish tizimlari konning ajratilgan qismlarida karer konturidan tashqaridagi sanoat zahiralari va ushbu zahiralalar asosida mumkin bo'lgan ishlab chiqarish unumdorligi bilan xarakterlanadi. Karer konturidan tashqaridagi zahiralalar karer osti zahiralardan (1) va karerning tog' bag'ridagi qismining bortorti zahiralardan tashkil topgan (2).

$$Q_{pk} = \sum_{i=1}^n H_i^{pk} \cdot S_i^{pk} \cdot \gamma_r \quad (1)$$

$$Q_{zb} = \sum_{i=1}^n H_i^{zb} \cdot S_i^{zb} \cdot \gamma_r \quad (2)$$

yoki umumiy ko'rinishda

$$Q_{z,z} = \sum_{i=1}^n ((H_i^{pk} \cdot S_i^{pk} \cdot \gamma_r) + (H_i^{zb} \cdot S_i^{zb} \cdot \gamma_r)) \quad (3)$$

bu yerda, i – karer konturidan tashqaridagi zahiralalar qismlari soni; N va S – mos ravishda, har bir zahira qismlarining balandligi va yuzasi, m va m^2 ; γ_r – rudaning hajmiy og'irligi, t/m^3 .

Karer konturidan tashqaridagi zahiralalar qismini ajratish, tog'li hududdagi konlarning o'ziga xosligi bilan asoslanadi va ochish tizimini tanlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega [10, 11].

Ochish tizimi konstruksiyasi, karer maydonidan foydalanishga ko'ra ilgari qayd etib o'tilganidek, sinflarga, sinflar esa, asosiy va yordamchi (qo'shimcha) ochuvchi lahimlarning turlari bo'yicha variantlarga bo'lingan.

Ochiq kon ishlari tugagandan keyin yoki tugallanish davridagi kon-texnik holat navbatdagi variantlarda ifodalangan:

- yer osti usulida qazib tugatiladigan konturorti zahiralari, karer bortoring tog' yon bag'ri qismida joylashgan (1, a - rasm);
- konturorti zahiralari karer osti qismida jamlangan (1, b - rasm);
- konturorti zahiralalar, karer bortoring tog' yon bag'ridagi qismida va karer osti qismida joylashgan (1, v - rasm).

Karer elementlariga va ruda uzatish uchun karer maydonidan foydalanishga nisbatan zahiralarning joylashishiga bog'liq holda, konturorti zahiralarni ochishning mumkin bo'lgan texnologik sxemasi variantlari ishlab chiqilgan.

Bortorti zahiralarni ochish variantlari (2 - rasm). Asosiy ochuvchi lahim karer maydoni hisoblanadi. Bortorti zahiralarni ochuvchi bosh lahim shtolnya, yordamchi (qo'shimcha) lahimlar qavat shtolnyalari, skipli qiya stvol, kapital shtolnyalar, shamollatish uchun vertikal stvol hisoblanadi. Variantlarning har birining o'ziga xosligi qayta yuklash punktlari joylashgan joyi ochuvchi lahimlar darajasida joylashganidir.

Bortorti zahiralarni bosh ochuvchi lahimi sifatida shtolnya, shamollatish uchun esa vertikal stvol hisoblanadi. Qavat shtolnyalaridan foydalanishda, qayta yuklash punktlarining yuzadagi kompleksi bevosita ochiq kon ishlari gorizontlarida joylashadi (2, a - rasm).

Ochish uchun qavat shtolnyalari va qiya transport s'ezdidan, shamollatish uchun qo'shimcha tik stvoldan foydalanishda, qayta yuklash punktlarining yuzadagi kompleksi mos ravishda karer gorizontlarida joylashadi (2, b - rasm).



1 - rasm. Zahiralalar joylashishining kon-texnik holati variantlari sxemasi

Ochish uchun qavat shtolnyalari va skipli qiya stvoldan, shamollatish uchun qo'shimcha vertikal stvoldan foydalanishda, qayta yuklash punktlari ham bevosita karer gorizontlarida joylashadi (2, v - rasm).

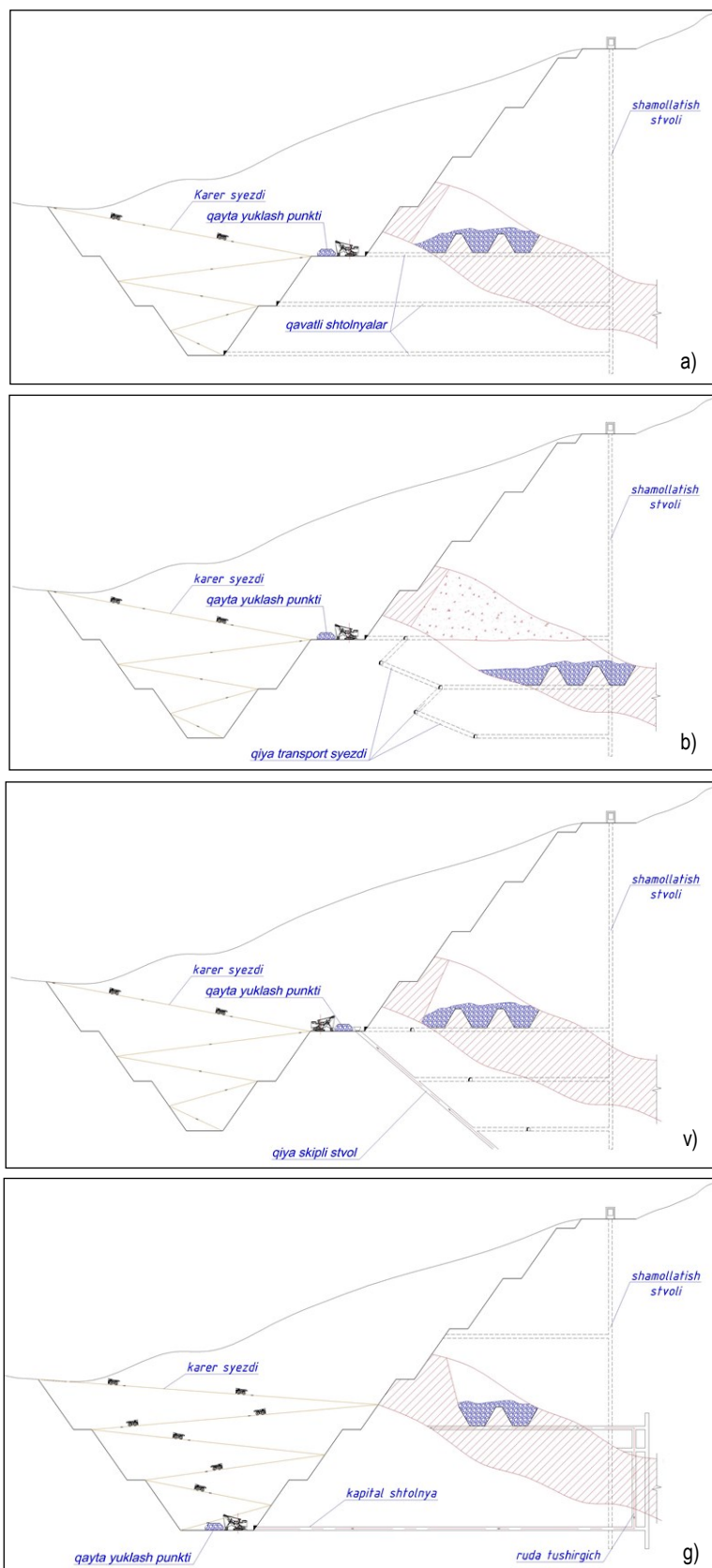
Kapital shtolnyadan foydalanganda (2, g - rasm) barcha ruda rudatushirgich orqali shtolnyagacha tushiriladi va undan keyin, karer tubida joylashgan yuzadagi qayta yuklash punktida karer avtomobil transportiga yuklanadi.

Ochiq konchilik ishlari bosqichida ochish ishlari, konning joylashish sharoitiga bog'liq va kon ishlari rejimini va ularning iqtisodiy samaradorligini aniqlaydi. Shuning uchun, ochishni loyihalash murakkab ko'p variantli kompleks texnik-iqtisodiy masalani o'zida ifoda etadi. Bunda ko'plab aniqlovchi faktorlarni miqdoriy jihatdan hisoblab bo'lmaydi [12]. Masala texnik jihatdan mumkin bo'lgan miqdor va sifat jihatdan baholash yo'li orqali hal etiladi. Dastlab, bir qator maxsus masalalar umumiy kompleks masaladan ajratib olinadi va yechiladi.

Masala tog' yon bag'rida turkumidagi konlarning xarakteri bilan murakkablashadi va loyihalashda masalalar quyidagi ketma-ketlikda hal etiladi:

1. Ko'ndalang va bo'ylama profil asosida, yakuniy yoki oraliq va istiqbolli konturularida karer plani tuziladi. Planga gorizontlar izochizig'i va joy reliefi kiritiladi.

2. Yuzadagi asosiy inshootlarning joylashishi va trassalarning karerga kirishi o'rnatiladi.



a) qavat shtolnyalari bilan; b) qiya transport s'ezdi bilan;

v) qiya skipli stvol bilan; g) kapital shtolnya bilan

2 – rasm. Karer maydonidan bortorti zahiralari ochish variantlari

Shu tariqa, quyidagi holatlardan kelib chiqib, ochish usulini tanlash tavsiya etiladi:

1. Konning xususiyati va uni ekspluatatsiya qilish sharoitiga asoslangan holda, aniq qabul qilinishi mumkin bo'lmagan va mantiqiy bo'lmagan variantlardan voz kechgan holda, texnik jihatdan mumkin bo'lganlari qabul qilinadi.

2. Taqqoslangan variantlarni baholashda, bir xil xarajatlarni hisobga olmagan holda, solishtiriladigan variantlar bo'yicha ochish usulining kapital va ekspluatatsion xarajatlarga bog'liq bo'lgan o'lchamlarga asosiy e'tibor qaratiladi. Umuman olganda quyidagilar inobatga olinadi: ochish va yer yuzasidagi inshootlarni qurish uchun kapital xarajatlari; ochuvchi kon lahimlarini saqlab turish, yer osti va yer yuzasidan yuklarni tashib chiqarish, ko'tarish; kon-kapital lahimlar ruda tanasida joylashganda, rudalarni yo'l-yo'lakay qazib olish hisobiga kapital xarajatlarni moliyalashtirishni kamaytirish.

3. Odatda, muhim ahamiyatga ega xarajatlar va chiqimlar hisobga olinadi, mayda va ikkinchi darajalilar esa, qiyosiy baholash uchun ahamiyatsiz sifatida e'tiborga olinmaydi.

4. Har bir variant uchun hisoblangan kapital xarajatlar va ekspluatatsion chiqimlar jadvalga kiritiladi va $\pm 10\%$, chegarasida yakuniy xulosalar uchun qabul qilinadi, agar farq kichikroq bo'lsa, variantlar teng qiymatli deb hisoblanadi.

Tog'li hududlardagi ruda konlarni qazib olishning optimal variantini tanlashda mezon sifatida 1 tonna foydali qazilma uchun minimal solishtirma xarajatlardan foydalaniladi. Ochish variantlarini texnik-iqtisodiy jihatdan baholash quyidagicha aniqlanadi:

- loyihalashning har bir qadamida yer osti usulining o'lchamlari va zahiralari aniqlash;
- tovar mahsuloti, ruda va kon massasi bo'yicha shaxtaning ishlab chiqarish quvvatini, shuningdek, uning amal qilish muddatini loyihalashning har bir qadamida aniqlash;
- shaxtani shamollatish usuli va sxemasini tanlash, yer osti inshootlarining geotermik omili va quvvatini hisobga olgan holda, loyihalangan qavatni shamollatish uchun havoning solishtirma sarfini aniqlash;
- kon massasini ko'tarish va shaxtaga xizmat ko'rsatish uchun yer osti inshootlari kompleksini, ularning o'lchamlarini, hajmlarini va qiymatini aniqlash;
- variantlar bo'yicha loyihaning grafik qismini tuzish;
- yer yuzasidagi kompleks, qayta yuklash-bo'shatish punktlari, ularning hajmlari va qiymati;
- ochish usuli bilan bog'liq bo'lgan asosiy ochuvchi va boshqa kapital lahimlarning parametrlari, hajmi va qiymatini aniqlash;
- ochish usuli bilan bog'liq bo'lgan ob'ektlar bo'yicha kapital quyilmalarni aniqlash;
- variantlar bo'yicha, qurish yillari bo'yicha kapital quyilmalarni taqsimlash;
- tog'li hududlardagi ruda konlarni qazib olishda ekspluatatsion xarajatlar variantlari, ya'ni, miqdori dastlabki uch turdagi xarajatlar yig'indisining 15-20% miqdorida olinishi mumkin bo'lgan xarajatlar: asosiy fondlarning amortizatsiyasi, oylik maoshi, elektreneregiyasi va boshqalar bo'yicha

solishtiriladiganlarini aniqlash;

- solishtirma xarajat va yillik iqtisodiy samaradorlik bo'yicha variantlarni baholash;

- keltirilgan xarajatlarni aniqlash va ularni variantlar bo'yicha baholash.

Konturorti zahiralari ochish variantlarini alohida blokga ajratish tavsiya etiladi. Zahiralarni karer elementlariga nisbatan joylashuviga va rudalarni uzatish uchun karer maydonidan foydalanishga ko'ra, konturorti zahiralarni ochishning texnologik sxemalari ishlab chiqildi.

Bibliografik ro'yxat:

1. Chung, J., Asad, M. W. A., & Topal, E. (2022). Timing of transition from open-pit to underground mining: A simultaneous optimisation model. *Resources Policy*, 77, 102632. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102632>
2. Ross, I. T., & Stewart, C. A. (2020). Issues with transitioning from open pits to underground caving mines. In *MassMin 2020 Proceedings* (pp. 221–238). https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2063_11
3. Tadjiev, S., & Sharopov, E. (2024). Assessment and selection of a rational option for the opening of near-contour reserves during open-underground mining of upland deposits. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 525). EDP Sciences.
4. Li, S., Su, W., Yin, T., Dan, Z., & Peng, K. (2025). Research progress and typical case of open-pit to underground mining in China. *Applied Sciences*, 15(15), 8530. <https://doi.org/10.3390/app15158530>.
5. Tadjiev, S. (2024). Classification of reserves of upland ore deposits developed by the open-underground method. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 525). EDP Sciences.
6. Chen, S., Zhao, G., & Wang, J. (2023). Geomechanical assessment of crown pillar stability during transition from open-pit to underground mining. *International Journal of Mining Science and Technology*, 33(1), 123–135.
7. Zhou, Y., Liu, H., & Zhang, W. (2024). Integrated planning for open-pit to underground transition using numerical modelling. *Mining Technology*, 133(2), 78–92.
8. Jabinpour, A., & Shahriar, K. (2025). Production scheduling for sublevel caving using linear optimization. *Journal of Mining and Environment*, 16(1), 55–69.
9. Badakhshan, N., Afraei, S., & Bakhtavar, E. (2024). Environmental-cost based optimisation of open-pit to underground transition. *Resources Policy*, 95, 105178.
10. Мислибаев И., Алимов Ш. М., Туйчиева Д. И. Экспериментальные исследования прочности свойств закладочных смесей с использованием отходов мраморного производства и угольной золы. ISSN 0017-2278 Горный журнал, 2025, № 10. –С. 41-44.
11. Xu, P., Li, W., & Sun, X. (2023). Numerical modelling of rock mass behaviour in deep ore bodies during transition mining. *Engineering Geology*, 317, 107120.
12. Gao, Q., Wen, Y., & Luo, R. (2021). Evaluation of haulage systems for deep underground–open pit hybrid mines. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 108, 103722.
13. Rakhmangulov, A., Burmistrov, K., & Osintsev, N. (2022). Selection of sustainable open-pit mining strategies based on MCDM. *Sustainability*, 14(13), 8003. <https://doi.org/10.3390/su14138003>.