OCHIQ KON ISHLARIDA AVTOAG‘DARMALAR PARAMETRLARINI OPTIMALLASHTIRISH VA BALAND YARUSLI AG‘DARMALAR MUSTAHKAMLIGINI GEOMEXANIK BAHOLASH *(«Yoshlik-1» koni «Janubiy» avtoag‘darmasi misolida)*

Madaliyev Oybek Xasan o‘g‘li
Olmaliq davlat texnika instituti, «Konchilik ishi» kafedrasi assistenti, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: madaliyev.o@odti.uz

Annotatsiya: *Ushbu tadqiqot ochiq konchilik ishlarida vujudga keladigan qoplovchi tog‘ jinslarini optimal va xavfsiz joylashtirish muammolarini geomexanik hamda iqtisodiy jihatdan hal etishga qaratilgan. «Yoshlik-1» konining «Janubiy» avtoag‘darmasi texnik ko‘rsatkichlari tahlili asosida, yaruslar balandligini an’anaviy 20 metrdan 60 metrga oshirish texnologiyasi taklif evtildi. Bu muhandislik yechimi qo‘shimcha yer maydonlarini egallamasdan, ag‘darmaning ichki sig‘imini samarali oshirish imkonini beradi. Loyihalanayotgan umumiy balandligi 180 metr bo‘lgan 3 yarusli ag‘darmaning konstruktiv mustahkamligi zamonaviy Rocscience Slide2 dasturiy majmuasida (Bishop Bishop usuli) geomexanik modellashtirildi va tizimning turg‘unligi ilmiy jihatdan isbotlandi. Shuningdek, yaruslar balandlashuvining karyer ichki transport tizimiga ta’siri baholanib, BelAZ avtosamosvallarining manyovr vaqti va yoqilg‘i sarfi ko‘rsatkichlari iqtisodiy jihatdan atroflicha tahlil qilindi.*

Kalit so‘zlar: *Qoplovchi jinslar, yarus balandligi, mustahkamlik zaxira koeffitsienti, Rocscience Slide2, xavfsizlik bermasi, ag‘darma sig‘imi.*

Аннотация: *Данное исследование направлено на геомеханическое и экономическое решение проблем оптимального и безопасного размещения вскрышных пород, возникающих при открытых горных работах. На основе анализа технических показателей автоотвала «Южный» месторождения «Ёшлик-1» предложена технология увеличения высоты ярусов с традиционных 20 метров до 60 метров. Данное инженерное решение позволяет эффективно увеличить внутреннюю емкость отвала, не занимая дополнительные земельные площади. Конструктивная прочность проектируемого 3-ярусного отвала общей высотой 180 метров была*

геомеханически смоделирована на современном программном комплексе Rocscience Slide2 (метод Bishop Bishop) и научно доказана устойчивость системы. Также было оценено влияние повышения ярусов на внутрикарьерную транспортную систему, проведен тщательный экономический анализ показателей маневрового времени и расхода топлива автосамосвалов БелАЗ.

Ключевые слова: *вскрышные породы, высота яруса, коэффициент запаса прочности, Rocscience Slide2, предохранительная берма, отвальная вместимость.*

Abstract: *This study is focused on addressing the geomechanical and economic challenges of optimally and safely placing overburden rock from open-pit mining operations. Based on an analysis of the technical specifications of the «Southern» dump at the «Yoshlik-1» mine, a technology is proposed to increase the height of the benches from the conventional 20 meters to 60 meters. This engineering solution makes it possible to effectively increase the internal capacity of the waste dump without requiring additional land. The structural stability of the designed 3-bench waste dump, with a total height of 180 meters, was geomechanically modeled using the modern Rocscience Slide2 software suite (Bishop's Simplified method), and the system's stability was scientifically proven. Furthermore, the impact of increased bench height on the in-pit transport system was assessed, and a comprehensive economic analysis of the maneuvering time and fuel consumption metrics for BelAZ haul trucks was conducted.*

Keywords: *Overburden rocks, bench height, factor of safety, Rocscience Slide2, safety berm, dump capacity.*

1. INTRODUCTION (KIRISH)

«Yoshlik-1» konining «Janubiy» avtoag‘darmasi qoplovchi jinslarni saqlashni ta’minlaydigan asosiy obyektlaridan biri hisoblanadi. Hozirgi kunda kon ishlari hajmining jadal oshishi natijasida ag‘darmalarning egallagan maydonining kengayishi, yer resurslarining yetishmovchiligi hamda transport masofalarining uzayishi kabi jiddiy muammolar kuzatilmoqda, bu esa o‘z navbatida qoplovchi jinslarni tashish xarajatlarini oshiradi.

Amaldagi loyihaga ko‘ra, «Janubiy» avtoag‘darmasi maksimal 180 metr balandlikda, har bir yarus balandligi 20 metrdan bo‘lgan 9 ta yarusli tizimda shakllantirilishi ko‘zda tutilgan. Ammo, yer resurslaridan oqilona foydalanish va

ag‘darma sig‘imini oshirish maqsadi, ag‘darma geometrik parametrlarini, xususan yaruslar balandligini qayta ko‘rib chiqishni talab etadi.

Ushbu tadqiqotda 20 metrlik yaruslardan voz kechib, ag‘darma ostidagi yer maydonini (1.5 km²) kengaytirmagan holda, yaruslar balandligini 60 metrgacha oshirish (3 ta yarus orqali jami 180 m) taklif etiladi. Bu holatda konchilik amaliyotida eng dolzarb hisoblangan savol tug‘iladi: *Balandligi 60 metr bo‘lgan yaruslar va umumiy balandligi 180 metr bo‘lgan ag‘darma borti mustahkam qoladimi, qulab tushish xavfi yo‘qmi?* Ushbu maqolada mazkur muammoning geomexanik xavfsizlik yechimi va iqtisodiy samaradorligi ko‘rsatib berilgan.

Mazkur muhandislik yechimining geomexanik xavfsizligi murakkab kon-geologik sharoitlarda chegaraviy muvozanat (Bishop) usuli hamda raqamli modellashtirish dasturlari yordamida har tomonlama isbotlandi. Hisob-kitoblar 60 metrlik yaruslarning normativ turg‘unligini kafolatlash bilan birga, ag‘darma geometriyasini optimallashtirish hisobiga kon korxonasining transport-logistika xarajatlarini hamda uzoq muddatli kapital qo‘yilmalarini sezilarli darajada kamaytirish imkonini berdi. Shu bilan birga, taklif etilayotgan ushbu baland yarusli texnologiya kon resurslaridan samarali foydalanish samaradorligini oshirib, ag‘darmaning ichki zaxira quvvatlarini maksimal darajaga yetkazadi.

2. METHODS (METODLAR)

Tadqiqotda ag‘darma hajmini geometrik modellashtirish hamda nishabliklar mustahkamligini baholash uchun kompleks muhandislik usullari qo‘llanildi.

2.1. Ag‘darma hajmini aniqlash metodikasi

Ag‘darma hajmini aniqlashda ixtiyoriy asosga ega kesik piramida (prizmoid) formulasidan foydalanildi:

$$V = \frac{h}{3} \cdot \left(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2}\right) \quad mln.m^3 \qquad (1)$$

Bu yerda:

- h — yarus balandligi, m;
- S_1 — yarus asosi (pastki maydoni) yuzasi, m^2;
- S_2 — yarusning yuqori maydoni yuzasi, m^2.

2.2. Geomexanik model va dasturiy ta’minot

Nishabliklarning mustahkamlik zaxira koeffitsientini (n) aniqlash va qulash xavfini modellashtirish uchun chegara muvozanat usuliga asoslangan jahon standartidagi **Rocscience Slide2** dasturiy majmuasi qo‘llanildi. Hisoblashlar jarayonida eng ishonchli usullardan biri — **Bishop (Bishop) usuli** tanlab olindi.

Ag‘darmaga to‘kilayotgan jinslarning fizik-mexanik xususiyatlari va dasturga kiritilgan boshlang‘ich parametrlar quyidagi jadvalda keltirilgan:

Jadval 1

Modellash uchun boshlang‘ich fizik-mexanik va muhandislik ma’lumotlari

Ko‘rsatkichlar	Belgilanishi	Qiymati
Loyihaviy umumiy balandlik	H	$180\ m$
Jinsning tabiiy qiyalik burchagi	α	$37°$
Jinsning solishtirma og‘irligi	γ	$27.4\ kN/m^3$
Jinsning ilashish kuchi	c	$5\ kPa$
Ichki ishqalanish burchagi	φ	$35°$
Hisoblash usuli	—	Bishop usuli
Dasturiy ta’minot	—	Rocscience Slide2

Normativ talablarga ko‘ra, ag‘darma yaruslari va borti uchun minimal xavfsiz mustahkamlik koeffitsienti $n_{\text{norm}} = 1.05 \div 1.10$ oralig‘ida bo‘lishi lozim (Sanoat xavfsizligi qoidalari).

3. RESULTS (NATIJALAR)

3.1. Amaldagi (Loyihaviy 1-variant) bo‘yicha hisoblar

Mavjud an’anaviy texnologiya bo‘yicha ag‘darma $1.5\ km^2$ maydonda har biri h = 20 m bo‘lgan 9 ta yarusdan tashkil topishi kerak. Prizmoid (1) formulasi orqali har bir yarusning hajmi alohida hisoblab chiqildi:

1 – yarusning hajmi:

$$V_1 = \frac{20}{3}(1{,}5 \cdot 10^6 + 1{,}38 \cdot 10^6 + \sqrt{(1{,}5 \cdot 10^6 \cdot 1{,}38 \cdot 10^6}\ ) = 28{,}8\ mln.m^3$$

2 – yarusning hajmi:

$$V_2 = \frac{20}{3}(1{,}26 \cdot 10^6 + 1{,}15 \cdot 10^6 + \sqrt{(1{,}26 \cdot 10^6 \cdot 1{,}15 \cdot 10^6} = 24{,}1\ mln.m^3$$

3 – yarusning hajmi:

$$V_3 = \frac{20}{3}(1{,}04 \cdot 10^6 + 0{,}94 \cdot 10^6 + \sqrt{(1{,}04 \cdot 10^6 \cdot 0{,}94 \cdot 10^6} = 19{,}8\ mln.m^3$$

4 – yarusning hajmi:

$$V_4 = \frac{20}{3}(0{,}84 \cdot 10^6 + 0{,}76 \cdot 10^6 + \sqrt{(0{,}84 \cdot 10^6 \cdot 0{,}76 \cdot 10^6}\ ) = 16\ mln.m^3$$

5 – yarusning hajmi:

$$V_5 = \frac{20}{3}(0{,}67 \cdot 10^6 + 0{,}59 \cdot 10^6 + \sqrt{(0{,}67 \cdot 10^6 \cdot 0{,}59 \cdot 10^6} = 12{,}5\ mln.m^3$$

6 – yarusning hajmi:

$$V_6 = \frac{20}{3}(0{,}51 \cdot 10^6 + 0{,}45 \cdot 10^6 + \sqrt{(0{,}51 \cdot 10^6 \cdot 0{,}45 \cdot 10^6}) = 9{,}6\ mln.m^3$$

7 – yarusning hajmi:

$$V_7 = \frac{20}{3}(0{,}38 \cdot 10^6 + 0{,}32 \cdot 10^6 + \sqrt{(0{,}38 \cdot 10^6 \cdot 0{,}32 \cdot 10^6}) = 7\ mln.m^3$$

8 – yarusning hajmi:

$$V_8 = \frac{20}{3}(0{,}26 \cdot 10^6 + 0{,}22 \cdot 10^6 + \sqrt{(0{,}26 \cdot 10^6 \cdot 0{,}22 \cdot 10^6}) = 4{,}7\ mln.m^3$$

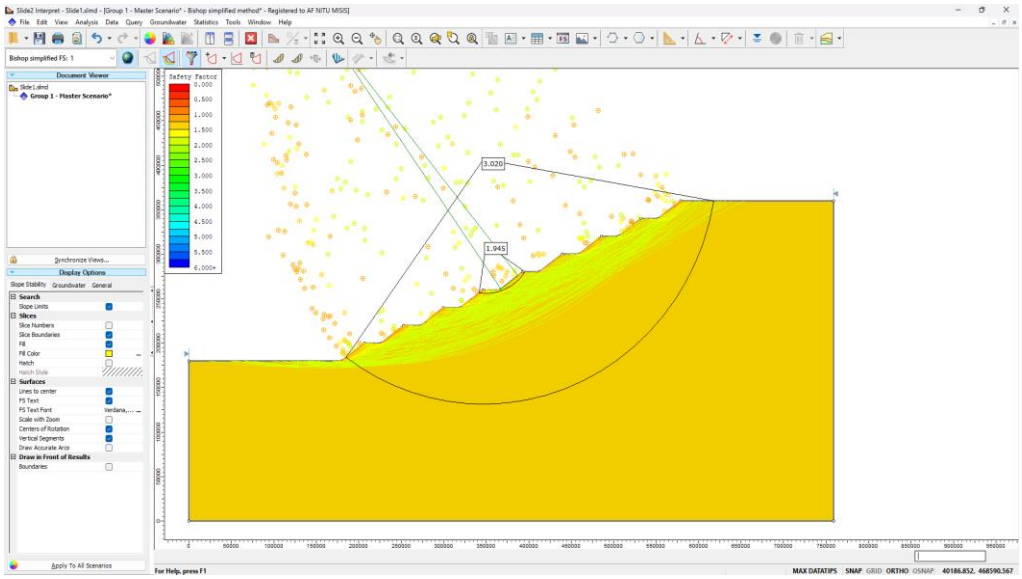
9 – yarusning hajmi:

$$V_9 = \frac{20}{3}(0{,}17 \cdot 10^6 + 0{,}13 \cdot 10^6 + \sqrt{(0{,}17 \cdot 10^6 \cdot 0{,}13 \cdot 10^6}) = 3\ mln.m^3$$

Ag'darmaning umumiy hajmi:

$$V_{um} = \sum_{i=1}^{9} V_i$$

$$V_{um} = 28{,}8 + 24{,}1 + 19{,}8 + 16 + 12{,}5 + 9{,}6 + 7 + 4{,}7 + 3 = 125{,}5\ mln.m^3.$$



1-rasm. Rocscience Slide2 dasturida birinchi variant bo'yicha tashqi ag'darmaning turg'unligini hisoblash modeli.

Jami nazariy hajm: $V_{um} = 125{,}5\ mln.m^3$ ni tashkil etadi. *Rocscience Slide2* dasturida ushbu variant tekshirilganda, umumiy bort barqarorligi n = 3.02, alohida

20 metrlik yarus uchun esa n = 1.9 chiqdi. Bu ko‘rsatkich zaxira kuchi juda kattaligini va ag‘darma parametrlarini yanada optimallashtirish imkoniyati mavjudligini ko‘rsatdi.

3.2. Taklif etilayotgan (Yangi 2-variant) bo‘yicha hisoblar

Yangi loyihada yaruslar soni 3 taga tushirilib, har bir yarus balandligi h = 60 m ga oshirildi. Ag‘darmaning qulab ketmasligini ta’minlash uchun yaruslar orasidagi xavfsizlik bermalari kengligi 30 metrdan 50 metrga oshirildi. Yangi geometrik parametrlar bo‘yicha yaruslar hajmi qayta hisoblandi:

1 – yarusning hajmi:

$$V_1 = \frac{60}{3}\left(1{,}5 \cdot 10^6 + 1{,}17 \cdot 10^6 + \sqrt{(1{,}5 \cdot 10^6 \cdot 1{,}17 \cdot 10^6)}\right) = 79{,}9\ mln.m^3$$

2 – yarusning hajmi:

$$V_2 = \frac{60}{3}\left(1{,}0 \cdot 10^6 + 0{,}72 \cdot 10^6 + \sqrt{(1{,}0 \cdot 10^6 \cdot 0{,}72 \cdot 10^6)}\right) = 51{,}4\ mln.m^3$$

3 – yarusning hajmi:

$$V_3 = \frac{60}{3}\left(0{,}58 \cdot 10^6 + 0{,}38 \cdot 10^6 + \sqrt{(0{,}58 \cdot 10^6 \cdot 0{,}38 \cdot 10^6)}\right) = 28{,}5\ mln.m^3$$

Ag’darmaning umumiy hajmi:

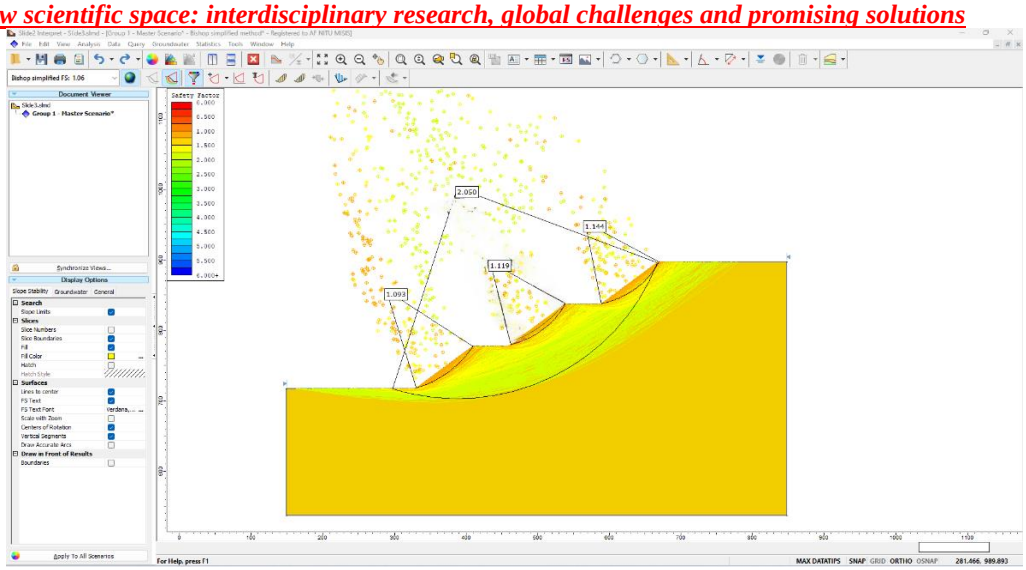
$$V_{um} = 79{,}9 + 51{,}4 + 28{,}5 = 159{,}8\ mln.m^3.$$

Jami taklif etilayotgan hajm: V(yangicha) = 79.9 + 51.4 + 28.5 = 159.8 $mln.m^3$. Yer maydoni mutlaqo kengaymadi (1.5 km^2), lekin ag‘darmaning ichki sig‘imi 34.3 mln. m^3 ga ko‘paydi.

3.3. Rocscience Slide2 dasturida mustahkamlikni tekshirish natijalari

60 metrlik yuqori yaruslarning buzilish nishabligi dasturda modellashtirilganda quyidagi aniq raqamli natijalar olindi:

- Umumiy 180 metrli ag‘darma borti uchun: n = 2.050
- Pastki 60 metrlik yarus uchun: n = 1.093
- O‘rta 60 metrlik yarus uchun: n = 1.119
- Yuqori 60 metrlik yarus uchun: n = 1.144



2-rasm. Ikkinchi variant bo‘yicha Rocscience Slide2 dasturiy majmuasida tashqi ag‘darmaning turg‘unligini hisoblash modeli.

Barcha qiymatlar normativ talabdan (n ≥ 1.05) yuqori, ya’ni 60 metrlik yaruslar to‘liq mustahkam va xavfsiz ekanligi dasturiy isbotlandi.

Jadval 2

Ikki variantning qiyosiy texnik parametrlari jadvallari

Ag‘darma parametrlari	**Amaldagi variant**	**Taklif etilgan variant**	**Farqi (Samaradorlik)**
Umumiy balandlik, m	180	180	0
Alohida yarus balandligi, m	20	60	+40 m
Xavfsizlik bermasi kengligi, m	30	50	+20 m
Egallagan yer maydoni, km^2	1.5	1.5	0
Ag‘darma sig‘imi, $mln.m^3$	125.5	159.8	+34.3 $mln.m^3$
Bort mustahkamlik koeffitsienti (n)	3.02	2.05	Xavfsiz oraliqda

4. ECONOMIC EFFICIENCY (IQTISODIY SAMARADORLIK TAHLILI)

Yaruslar balandligini 20 metrdan 60 metrga oshirish nafaqat yer resurslarini tejaydi, balki karyerdagi transport zanjiriga, yoqilg‘i sarfiga va ekspluatatsiya

xarajatlariga bevosita ijobiy ta’sir ko‘rsatadi. «Yoshlik-1» konida qoplovchi jinslarni tashishda foydalaniladigan BelAZ-75307 (yuk ko‘tarish quvvati 220 tonna) avtosamosvallarining texnik ko‘rsatkichlari asosida yoqilg‘i sarfi tahlil qilindi.

Karyerdagi ekskavatorlardan ag‘darmagacha bo‘lgan o‘rtacha transport masofasi loyiha bo‘yicha L = 4 km ni tashkil etadi. Ammo ag‘darma balandligi ortishi va transport yo‘llarining konfiguratsiyasi o‘zgarishi bilan umumiy bosib o‘tiladigan masofa va manyovrlar vaqti o‘zgaradi. Yoqilg‘i sarfi quyidagi formula asosida aniqlandi:

$$q_{sm} = 0{,}01 \cdot \mathrm{a}_{100} \cdot l_{um} \cdot K_{qish} \cdot K_m \cdot K_{ichki},\ \text{litr/sm} \quad (2)$$

Bu yerda:

- a_{100} = 600 litr — BelAZ-75307 uchun 100 km masofaga normativ yoqilg‘i sarfi;
- K_{qish} = 1.05 — qishki koeffitsient;
- K_m = 1.05 — manyovrlar koeffitsienti;
- K_{ichki} = 1.04 — ichki garaj ehtiyojlari koeffitsienti.

Iqtisodiy solishtirish natijalari:

1. Amaldagi loyihaviy holatda (Masofa qisqaroq bo‘lganda): Bir smenalik umumiy masofa ($l_{um} = 935\ km$) bo‘lganda, yoqilg‘i sarfi:
   $$q_{sm} = 0{,}01 \cdot 600 \cdot 935 \cdot 1{,}05 \cdot 1{,}05 \cdot 1{,}04 = 6\,432 \text{ litr/sm}$$
   Yillik yoqilg‘i sarfi (610 smena uchun): 6432 · 610 = 3 923 520 litr/yil.
2. Ag‘darma balandligi oshib, tashish masofasi 5 km gacha cho‘zilgan holatda: Smenalik umumiy yurish masofasi $l_{um} = 1169\ km$ ga yetadi. Yoqilg‘i sarfi:
   $$q_{sm} = 0{,}01 \cdot 600 \cdot 1169 \cdot 1{,}05 \cdot 1{,}05 \cdot 1{,}04 = 8\,042{,}2 \text{ litr/sm}$$

Muhim iqtisodiy xulosa: Garchi ag‘darma yaruslari balandligini 180 metrga ko‘tarish va yuqori gorizontlarga chiqish transport masofasining ortishi hisobiga smenalik yoqilg‘i sarfini 1610 litrga ko‘paytirsa-da, strategik istiqbolda bu ko‘rsatkich yuqori iqtisodiy samaradorlikni ta’minlaydi. Chunki an’anaviy texnologiya bo‘yicha «Janubiy» avtoag‘darmasi ma’lum bir muddatda o‘z sig‘imini tugatgan bo‘lar edi. Ag‘darmaning to‘lib qolishi esa «Yoshlik-1» karyeridan qoplovchi tog‘ jinslarini yangi, yanada uzoqroq masofada joylashgan ag‘darma maydonlariga tashishni taqzo etib, transport zanjirini keskin uzaytiradi va kapital xarajatlarni karrali ravishda oshiradi. Yangi yer maydonlarini qishloq xo‘jaligidan ajratib olish va unga to‘lanadigan kompensatsiya xarajatlari tejalishi hisobiga korxonaning sof iqtisodiy foydasi millionlab dollarni tashkil etadi. Shuningdek, 34.3 $mln.m^3$ qo‘shimcha sig‘im konning uzluksiz ishlashini ta’minlaydi.

5. DISCUSSION AND CONCLUSION (MUHOKAMA VA XULOSA)

Rocscience Slide2 dasturida bajarilgan geomexanik tahlillar konchilikda uzoq vaqt davomida qo‘llanilib kelayotgan «baland yaruslar beqaror bo‘ladi» degan stereotipni rad etadi. Jinslarning fizik-mexanik xususiyatlari (ayniqsa ichki ishqalanish burchagi $\varphi = 35^{\circ}$ ag‘darmaning 60 metrlik balandlikda ham mustahkam turishiga to‘liq imkon beradi. Xavfsizlikni kafolatlovchi eng asosiy muhandislik yechimi — xavfsizlik bermalarini 50 metrga kengaytirish taklifimiz bo‘ldi.

Tadqiqotning yakuniy xulosalari:

1. «Yoshlik-1» koni «Janubiy» avtoag‘darmasida yaruslar balandligini 60 m etib belgilash muhandislik va sanoat xavfsizligi talablariga to‘liq javob beradi (n $\geq$ 1.093).
2. Mazkur optimallashtirish qo‘shimcha yer maydonlarini egallamasdan, ag‘darma sig‘imini 34.3 $mln.m^3$ ga (yoki 27.3% ga) oshirish imkonini berdi.
3. Iqtisodiy jihatdan, transport masofasining o‘zgarishi natijasidagi yoqilg‘i xarajatlari yer resurslarini tejashdan olingan ulkan iqtisodiy foyda hisobiga to‘liq qoplanadi va konning rentabelligini oshiradi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI (REFERENCES)

1. Сытенков В. Н. Геомеханическое обоснование устойчивости бортов карьеров и отвалов. – Ташкент: ГП «НИИМР», 2012. – 320 с.
2. Hustrulid W. A., Kuchta M., Martin R. K. Open Pit Mine Planning and Design. – 3rd ed. – Boca Raton: CRC Press, 2013. – 1308 p.
3. Wyllie D. C., Mah C. W. Rock Slope Engineering: Civil and Mining. – 4th ed. – London: Routledge, 2004. – 456 p.
4. Репин Н. Я. Процессы открытых горных работ: Учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во МГГУ, 2005. – 340 с.
5. Трубецкой К. Н., Потапов М. Г., Виницкий К. Е. Справочник. Открытые горные работы. – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.
6. Галиев С. Ж. Транспортные системы карьеров. – Алматы: Гылым, 2009. – 284 с.
7. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. – Ташкент: Госгеоконтроль Республики Узбекистан, 2018. – 214 с.