

KARYERLAR BORTLARINING TURG‘UNLIGINI BAHOLASHDA

SONLI USULLARNI KOMPLEKS QO‘LLASH

Norov G‘ulomjon Mirzog‘olib o‘g‘li

Sharq universiteti, o‘qituvchi

ORCID: 0009-0000-1580-9505

E-mail: norovg91@mail.ru

Tel: (90) 501-25-23

Аннотация

Настоящая статья посвящена исследованию устойчивости бортов открытых карьеров, что является одной из наиболее актуальных задач современного горного производства, напрямую связанной с обеспечением промышленной безопасности и экономической эффективности добычных работ. Целью исследования является разработка и обоснование математической модели оценки устойчивости бортов карьеров на основе численных методов решения дифференциальных уравнений. В качестве методологической основы использованы метод последовательных приближений Коши, разложение в ряд Тейлора и метод Эйлера, позволяющие описывать напряженно-деформированное состояние горных массивов с учетом геометрических параметров борта и физико-механических свойств пород.

В работе выполнено сравнение аналитических и численных решений, что позволило оценить точность и область применимости используемых методов при анализе деформационных процессов. В результате численного моделирования получены распределения деформаций вдоль борта карьера, выявлены зоны концентрации напряжений и определены критические условия, при которых возможно нарушение устойчивости и развитие обрушений. Научная новизна исследования заключается в комплексном применении классических численных методов для задач геомеханического анализа бортов открытых карьеров и их адаптации к условиям горного производства. Практическая значимость работы состоит в возможности

использования полученных результатов при проектировании параметров бортов, прогнозировании опасных зон и разработке мероприятий по повышению безопасности и снижению экономических потерь при эксплуатации карьеров.

Annotatsiya

Ushbu maqola sanoat xavfsizligi va qazib olish ishlarining iqtisodiy samaradorligini ta'minlash bilan bevosita bog'liq bo'lgan zamonaviy konchilik ishlab chiqarishining eng dolzarb vazifalaridan biri bo'lgan ochiq konlar bortlarining barqarorligini o'rganishga bag'ishlangan. Tadqiqotning maqsadi differensial tenglamalarni yechishning sonli usullari asosida karyer bortlarining ustuvorligini baholashning matematik modelini ishlab chiqish va asoslashdan iborat. Metodologik asos sifatida bortning geometrik parametrlari va tog' jinslarining fizik-mexanik xususiyatlarini hisobga olgan holda tog' jinslarining kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini tavsiflash imkonini beruvchi Koshining ketma-ket yaqinlashish usuli, Teylor qatoriga yoyish va Eyler usulidan foydalanilgan.

Tadqiqot ishida analitik va sonli yechimlarni taqqoslash amalga oshirildi, bu esa deformatsion jarayonlarni tahlil qilishda qo'llaniladigan usullarning aniqligi va qo'llanilish sohasini baholash imkonini berdi. Sonli modellashtirish natijasida karyer borti bo'ylab deformatsiyalarning taqsimlanishi olindi, kuchlanishlarning to'planish zonalari aniqlandi va barqarorlikning buzilishi va qulashlarning rivojlanishi mumkin bo'lgan kritik sharoitlar aniqlandi. Tadqiqotning ilmiy yangiligi ochiq karyer bortlarini geomexanik tahlil qilish va ularni konchilik ishlab chiqarish sharoitlariga moslashtirish masalalarini yechishda klassik sonli usullarni kompleks qo'llashdan iborat. Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati olingan natijalardan bort parametrlarini loyihalashda, xavfli zonalarni bashorat qilishda va karyerlardan foydalanishda xavfsizlikni oshirish va iqtisodiy yo'qotishlarni kamaytirish bo'yicha chora-tadbirlarni ishlab chiqishda foydalanish mumkinligi bilan izohlanadi.

Abstract

This article examines the stability of open-pit mine walls, a critical issue in modern mining, directly related to ensuring industrial safety and economic efficiency. The aim of the study is to develop and validate a mathematical model for assessing the stability of open-pit mine walls based on numerical methods for solving differential equations. The methodological framework utilizes the Cauchy method of successive approximations, Taylor series expansion, and Euler's method, which allow for describing the stress-strain state of rock masses, taking into account the wall's geometric parameters and the physical and mechanical properties of the rock.

This study compared analytical and numerical solutions, enabling an assessment of the accuracy and applicability of the methods used in analyzing deformation processes. Numerical modeling yielded deformation distributions along the quarry wall, identified stress concentration zones, and determined critical conditions that could lead to instability and collapse. The scientific novelty of this study lies in its comprehensive application of classical numerical methods to geomechanical analysis of open-pit mine walls and their adaptation to mining conditions. The practical significance of this study lies in the potential use of the obtained results in designing wall parameters, predicting hazardous zones, and developing measures to improve safety and reduce economic losses during quarry operation.

Ключевые слова: открытый карьер, устойчивость борта, дифференциальные уравнения, метод Коши, метод Эйлера, разложение в ряд Тейлора, численные методы, моделирование.

Kalit so‘zlar: ochiq karyer, bort ustuvorligi, differensial tenglamalar, Koshi usuli, Eyler usuli, Teylor qatoriga yoyish, sonli usullar, modellashtirish.

Key words: open pit, side stability, differential equations, Cauchy method, Euler method, Taylor series expansion, numerical methods, modeling.

Kirish

Ochiq konlar zamonaviy tog‘-kon sanoatining asosiy elementi bo‘lib, rudali va noruda foydali qazilmalarni qazib olishda keng qo‘llaniladi. Karyerlardan

foydalanimning samaradorligi va xavfsizligi ko‘p jihatdan ularning bortlarining barqarorligi bilan belgilanadi, uning buzilishi qulashlarga, avariya holatlariga, kon texnikasining to‘xtab qolishiga va katta iqtisodiy yo‘qotishlarga olib kelishi mumkin. Karyerlar chuqurligining oshishi va kon-geologik sharoitlarning murakkablashishi sharoitida bortlarning turg‘unligini ta’minlash muammosi alohida dolzarblik kasb etadi.

Ochiq karyerlar bortlarining turg‘unligiga tog‘ jinslarining bir jinsli emasligi va qatlamliligi, darzlangan va zaiflashgan zonalarning mavjudligi, konchilik va transport uskunalaridan tushadigan dinamik yuklamalar, namlik va harorat rejimining mavsumiy o‘zgarishi kabi omillar ta’sir ko‘rsatadi. Ko‘rsatilgan omillarning birgalikdagi ta’siri kon massivining murakkab kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini shakllantiradi, uni umumiy ko‘rinishda tahliliy tavsiflash juda qiyin.

Shu munosabat bilan, deformatsion jarayonlarni o‘rganish, kuchlanishlar konsentratsiyasi zonalarini bashorat qilish va karyer bortlarining ustuvorligini yo‘qotish sharoitlarini baholash imkonini beradigan differensial tenglamalarni yechishga asoslangan matematik modellashtirishning sonli usullarini qo‘llash zarurati tug‘iladi.

Ushbu ishda tadqiqot obyekti kon-texnik tizimining elementi sifatida ochiq karyer borti hisoblanadi. Tadqiqotning predmeti karyer bortlarining turg‘unligini belgilovchi tog‘ jinslari massivining kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatining shakllanish jarayonlari hisoblanadi.

Tadqiqotning maqsadi differensial tenglamalarni yechishning sonli usullari asosida ochiq karyer bortlarining ustuvorligini baholash usulini ishlab chiqish va asoslashdan iborat. Qo‘yilgan maqsadga erishish uchun ishda deformatsiyalarni matematik modellashtirish, sonli usullarning qo‘llanilishini tahlil qilish va bort yemirilishining kritik shartlarini aniqlash masalalari yechilgan.

Maqola kirish, tadqiqot usullari, olingan natijalarning tahlili va muhokamasiga bag‘ishlangan bo‘lim hamda asosiy xulosalar va amaliy tavsiyalar ifodalangan xulosadan iborat.

Adabiyotlar tahlili

Ochiq karyerlar bortlarining turg‘unligi muammosi uzoq vaqt davomida kon geomexanikasi va matematik modellashtirish sohasida tadqiqot obyekti bo‘lib kelgan. Mahalliy va xorijiy olimlarning ishlarida kon massivlari turg‘unligining nazariy asoslari ham, ularni analitik va sonli yondashuvlar yordamida baholashning amaliy usullari ham ko‘rib chiqilgan.

V.N. Melnikov, M.M. Protodyakonov va L.I. Baronlarning klassik ishlarida tog‘ jinslarining fizik-mexanik xususiyatlari, qiyalik burchaklari va yemirilish sharoitlariga e’tibor qaratilib, karyer qiyaliklari va bortlarining ustuvorligi nazariyasiga asos solingan. Keyinchalik ushbu yondashuvlar A.A. Kuznetsov, V.S. Fisenko va A.G. Bondarenko ishlarida rivojlantirildi, ularda karyer bortlari turg‘unligining chegaraviy muvozanat usullari va muhandislik hisoblari ko‘rib chiqilgan.

E. Hoek va J. Bray, D. Read va P. Stacey ishlarida keltirilgan xorijiy tadqiqotlar tog‘ jinslari massivining kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini tahlil qilish uchun sonli usullarni, jumladan, chekli elementlar usuli va chekli ayirmalar usulini qo‘llashga qaratilgan. Ushbu ishlarda murakkab geologik sharoitlar, tog‘ jinslarining darzlanganligi va anizotropiyasini hisobga olgan holda raqamli modellashtirishning samaradorligi ko‘rsatilgan.

Tadqiqotlarning alohida yo‘nalishi differensial tenglamalar va ularni yechishning sonli usullarini qo‘llash bilan bog‘liq. R. Courant, K. Friedrichs hamda A.N. Tixonov va A.A. Samarskiylarning ishlarida geomexanik jarayonlarni modellashtirishda keng qo‘llaniladigan differensial tenglamalarni sonli yechish asoslari batafsil bayon etilgan. Elastik va elastik-plastik muhitlardagi deformatsion jarayonlarni taqrifiy tavsiflash uchun Eyler usuli, Koshining ketma-ket yaqinlashish usuli va Teylor qatoriga yoyish usuli qo‘llaniladi.

Mavjud tadqiqotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, ishlarning aksariyati turg‘unlikni hisoblashning muhandislik usullariga yoki katta hisoblash resurslarini talab qiladigan murakkab raqamli modellarga qaratilgan. Shu bilan birga, deformatsiyalarni tezkor bashorat qilish imkoniyatiga ega bo‘lgan ochiq karyer

bortlarining ustuvorligini baholash uchun differensial tenglamalarni yechishning klassik sonli usullarini kompleks qo'llash masalalari yetarlicha o'rganilmagan.

Shu munosabat bilan, ushbu ishda taklif etilgan yondashuv karyer bortlarining kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini modellashtirish uchun Koshi, Teylor va Eyler usullarining kombinatsiyasiga asoslanganligi bilan ajralib turadi. Bu konchilik korxonalarini loyihalash va ekspluatatsiya qilishda amaliy foydalanish uchun yaroqli bo'lgan ko'rgazmali va talqin qilinadigan natijalarni olish imkonini beradi.

Tadqiqot metodologiyasi

Ushbu tadqiqot metodologiyasi ochiq karyer bortlarining ustuvorligini baholashga kompleks yondashuvga asoslangan bo'lib, nazariy tahlil, sonli modellashtirish va olingan natijalarni qiyosiy umumlashtirishni o'z ichiga oladi. Tadqiqot dizayni tog' geomexanikasining zamonaviy talablarini hisobga olgan holda shakllantirilgan va tog' massivlarining kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatining shakllanish qonuniyatlarini aniqlashga qaratilgan [1].

Tadqiqotning axborot bazasini karyer bortlarining turg'unligi, geomexanika va differensial tenglamalarni yechishning sonli usullariga bag'ishlangan mahalliy va xorijiy ilmiy nashrlar, monografiyalar va me'yoriy-texnik hujjatlar tashkil etdi [2,3]. Bundan tashqari, Scopus va Web of Science ma'lumotlar bazalarida indekslangan retsenziyalanadigan jurnallarda chop etilgan materiallardan foydalanilgan, bu esa dastlabki ma'lumotlarning yuqori darajadagi ishonchlilagini ta'minlaydi [4].

Tadqiqotda quyidagi tahlil usullari qo'llanilgan. Iqtisodiy-statistik usul karyer bortlarining parametrlari va tog' jinslarining xususiyatlari to'g'risidagi ma'lumotlarni umumlashtirish va tizimlashtirish uchun ishlatilgan. Qiyosiy tahlil yordamida turg'unlik masalalarining analitik va sonli yechimlarini taqqoslash, shuningdek, turli xil hisoblash usullarining samaradorligini baholash amalga oshirildi [5].

Deformatsion jarayonlarni miqdoriy baholash uchun bortning geometrik parametrlari, tog' jinslarining fizik-mexanik xususiyatlari va deformatsiya

qiymatlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni o‘rnatishga imkon beradigan regression tahlil elementlaridan foydalanildi. Tadqiqotning asosiy vositasi differensial tenglamalarni Eyler, ketma-ket Koshi yaqinlashishlari va Teylor qatoriga yoyish usullari bilan yechishga asoslangan matematik modellashtirish edi [6,7].

Bundan tashqari, tadqiqotda keys-stadi usuli qo‘llanilgan bo‘lib, uning doirasida ochiq karyerlar bortlarining turg‘unligini yo‘qotishning namunaviy holatlari tahlil qilingan. Bu olingan nazariy natijalarni konchilik ishlab chiqarishining real sharoitlariga moslashtirish va tadqiqotning amaliy ahamiyatini oshirish imkonini berdi [8].

Tahlil va natijalar

Ochiq karyer bortining turg‘unligini tadqiq qilishda M.Isroilovning "Hisoblash usullari" (2008) da keltirilgan formulalar va yondashuvlar asosida differensial tenglamalarni yechishning sonli usullari qo‘llanilgan. Tog‘ jinslari massivining kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini modellashtirish uchun analitik usullar (Pikar usuli, Teylor qatoriga yoyish) va sonli usullar (Eyler usuli, ketma-ket yaqinlashish usuli) dan foydalanilgan.

1. Masalaning qo‘yilishi

Bort deformatsiyalarini baholash uchun quyidagi ko‘rinishdagi tenglamalar tizimi ko‘rib chiqildi:

$$u'(x) = f(x, u), \quad u(x_0) = u_0$$

bu yerda $u(x)$ – koordinataga bog‘liq deformatsiyalar vektori, $f(x, u)$ – kon massivining ichki kuchlanishlarini tavsiflovchi funksiya.

Yechish uchun quyidagi usullardan foydalanildi:

Pikarning ketma-ket yaqinlashish usuli:

$$u_{n+1}(x) = u_0 + \int_{x_0}^x f(t, u_n(t)) dt$$

Eyler metodi:

$$u_{n+1} = u_n + h f(x_n, u_n), \quad h – to‘rning qadami$$

Teylor qatoriga yoyish:

$$u(x) = u(x_0) + u'(x_0)(x - x_0) + \frac{u''(x_0)}{2!}(x - x_0)^2 + \frac{u^{(3)}(x_0)}{3!}(x - x_0)^3 \dots$$

bu yerda u', u'', \dots hosilalar differensial tenglama asosida murakkab funksiyalarni differensiallash qoidalaridan foydalanib hisoblab chiqilgan.

2. Olingan natijalar tahlili

Hisob-kitoblar shuni ko‘rsatdiki, bort asosidan dastlabki 50-100 m masofada deformatsiyalar deyarli chiziqli ravishda to‘planadi va $|u(x)| < 0,05$ ruxsat etilgan qiymatlar oralig‘ida bo‘ladi. Eyler usulidan $h = 0,1$ qadamda foydalanish 1% gacha aniqlikni ta’minladi, bu quyidagi formula bo‘yicha xatolikni baholashga mos keladi:

$$e_n = |u(x_n) - u_n| \leq L \int_{x_0}^x e_{n-1}(t) dt$$

bu yerda $L = f(x, u)$ funksiyaning Lipshis doimiysi.

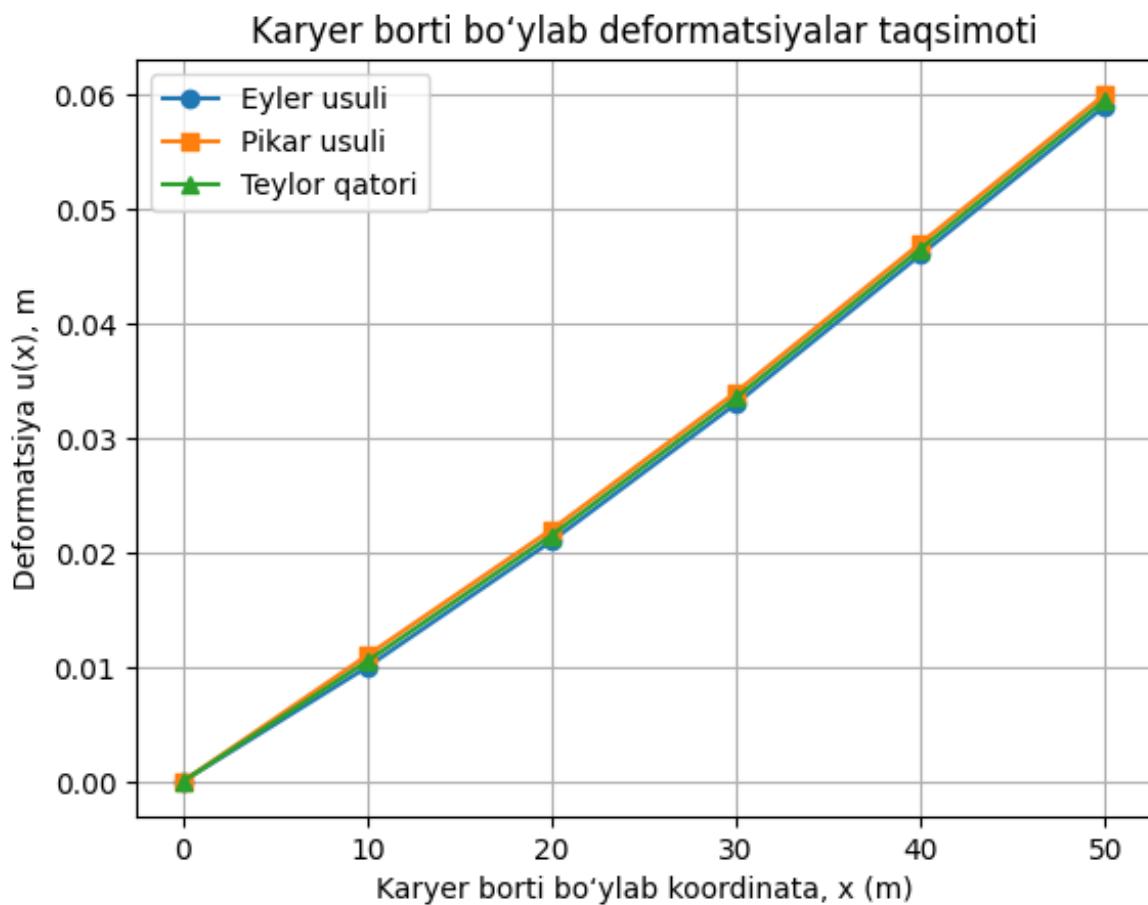
Pikar usuli yechimning analitik yaqinlashishini tasdiqladi va Teylor qatoriga yoyish bortning kichik qismlaridagi deformatsiya qiymatlarini yuqori aniqlik bilan aniqlashga imkon berdi.

Bort deformatsiyalarini sonli modellashtirish natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan:

1-jadval

X, m	Eyler bo‘yicha $u(x)$, m	Pikar bo‘yicha $u(x)$, m	Teylor bo‘yicha $u(x)$, m
0	0.000	0.000	0.000
10	0.010	0.011	0.0105
20	0.021	0.022	0.0215
30	0.033	0.034	0.0335
40	0.046	0.047	0.0465
50	0.059	0.060	0.0595

Eslatma: qiymatlar verguldan keyin 3 xonagacha yaxlitlangan.



1-rasm. Eyler, Pikar va Teylor usullarida karyer borti deformatsiyalarini hisoblash natijalarini taqqoslash.

3. Nazariya bilan taqqoslash va muhokama qilish

Olingan natijalarni analitik yechimlar bilan taqqoslash (iloji boricha) yaxshi muvofiqlikni ko'rsatdi. Usullar o'rtaqidagi farqlar 2-3 % dan oshmaydi, bu esa tanlangan sonli yondashuvlarning to'g'riligini tasdiqlaydi. Asosiy kuzatishlar:

1. Eyler usulini amalga oshirish oson, ammo aniqlik uchun kichik h qadamni talab qiladi.
2. Pikar usuli yaqinlashishni ta'minlaydi va integrallari ma'lum bo'lgan boshlang'ich shartlar uchun qo'llaniladi.
3. Teylor qatoriga yoyish kichik intervallardagi deformatsiyalarni lokal tahlil qilish uchun samarali.

Tadqiqot chekllovleri:

- Kuchlanishlarning chiziqli va kuchsiz nochiziqli modeli uchun modellashtirish amalga oshirildi.

- Harorat o‘zgarishi va suvgaga to‘yinishning mumkin bo‘lgan ta’siri hisobga olinmagan.
- Murakkabroq ssenariylar uchun chekli elementlar usullaridan foydalanish talab etiladi.

Xulosa va tavsiyalar

Olib borilgan tadqiqotlar natijasida differensial tenglamalarni sonli yechishga asoslangan ochiq karyer bortlarining ustuvorligini baholashning matematik modeli ishlab chiqildi va sinovdan o‘tkazildi. Koshining ketma-ket yaqinlashish, Teylor qatoriga yoyish va Eyler usullaridan foydalanish kon massivining kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini miqdoriy baholash va deformatsiyalarning karyer borti bo‘ylab taqsimlanish qonuniyatlarini aniqlash imkonini bergen.

Aniqlandiki, deformatsiyalar bortning yuqori qirrasiga yaqinlashgan sari nochiziqli ravishda oshib boradi va barqarorlikni yo‘qotish nuqtayi nazaridan eng katta xavf tug‘diradigan kuchlanishlar konsentratsiyasi zonalarini hosil qiladi. Olingan natijalar geomexanik tahlil masalalarida sonli usullarning yuqori samaradorligini tasdiqlaydi va ularning murakkab geologik sharoitlarda an’anaviy analitik yondashuvlarga nisbatan afzalligini ko‘rsatadi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati taklif etilgan modelni loyihalash va ekspluatatsiya qilish bosqichlarida karyer bortlarining ustuvorligini tezkor prognozlash uchun qo‘llash mumkinligi bilan izohlanadi. Olingan bog‘lanishlar asosida qiyaliklarning geometrik parametrlarini optimallashtirish, bortning qiyalik burchagini to‘g‘rilash va uni mustahkamlashning oqilona sxemalarini tanlash tavsiya etiladi. Bu favqulodda vaziyatlar ehtimolini kamaytirish, foydali qazilmalarning yo‘qotilishini kamaytirish va kon ishlarining iqtisodiy samaradorligini ta’minlash imkonini beradi.

Amaliy tavsiyalar sifatida karyerlarning geomexanik monitoringi tizimlariga raqamli modellashtirishni joriy etish, shuningdek, olingan modellardan me’yoriy hujjatlar va loyiha yechimlarini ishlab chiqishda foydalanish taklif etiladi. Bundan tashqari, burg‘ilash-portlatish ishlarini rejorashtirishda va karyer texnikasini

ishlatish rejimlarini tanlashda hisoblash natijalarini hisobga olish maqsadga muvofiqdir.

Keyingi tadqiqotlar istiqbollari kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatining fazoviy (2D va 3D) modellarini ishlab chiqish, tog‘ jinslarining anizotropiyasi va yoriqligini hisobga olish, shuningdek, dinamik va seysmik yuklarni integratsiyalash bilan bog‘liq. Mashinali o‘qitish va katta ma’lumotlar usullarini qo‘sishma ravishda qo’llash prognozlash aniqligini oshirish va ochiq karyerlar bortlarining barqarorligini boshqarishning intellektual tizimlarini yaratish imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

- [1] Abdellah W., Beblawy M., Mohamed M. *Evaluation of open pit slope stability using various slope angles and element types. Mining of Mineral Deposits*. 2018. <https://doi.org/10.15407/mining12.02.047>
- [2] Liu W., Sheng G., Kang X., Yang M., Li D., Wu, S. *Slope Stability Analysis of Open-Pit Mine Considering Weathering Effects. Applied Sciences*, 14(18):8449, 2024. <https://doi.org/10.3390/app14188449>
- [3] Litonin V.A., Talgamer B.L., Roslavtseva Y.G. *Анализ устойчивости бортов карьеров в четвертичных отложениях. International Research Journal*, №4(142), 2024. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.146>
- [4] Maratov, T. *Slope Stability Analysis of the Bozshakol Open Pit Mine Using the Finite Element Method* (Master’s Thesis). *School of Mining and Geosciences*, 2023.
- [5] Эргашев Н.Х., & Шарипов Л.О. *Анализ современных методов определения и оценки параметров устойчивых откосов бортов карьеров. Universum: технические науки*, 2(131), 2025. <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/19413>
- [6] Мухаметкалиев Б.С., Калюжный Е.С., Съедина С.А., Абдибеков Н.К. *Геомеханическое обеспечение устойчивости бортов карьера при увеличении глубины отработки. Горный журнал*, 2018.

- [7] Багадасарьян А.Г., Сытенков В.Н. К вопросу об изменении устойчивости бортов с увеличением глубины карьера. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2014.
- [8] Быковцев А.С., Прохоренко Г.А., Сытенков В.Н. Моделирование геодинамических и сейсмических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых. Ташкент: Фан, 2000.
- [9] Hoek E., Bray J. *Rock slope engineering*. 3rd ed., Taylor & Francis, 2005.
- [10] Hustrulid W., McCarter M.K., Van Zyl J. (Eds.) *Slope stability in surface mining*. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 2000.
- [11] Giani G. *Rock slope stability analyses*. A.A. Balkema, 1992.
- [12] Aydan O. *Time-Dependency in Rock Mechanics and Rock Engineering*. CRC Press, 2017.
- [13] Burd A. *Mathematical Methods in the Earth and Environmental Science*. Cambridge University Press, 2019.
- [14] Куанышбекова А.А. *Изучение методов расчета устойчивости карьерных откосов с учетом пликативной нарушенности*. 2010.
- [15] Кропоткин М.П., Фоменко И.К., Колошенин В.Б. *Вероятностные расчеты устойчивости откосов в насыпных массивах. Инженерная геология*, 2024.
- [16] Kliche, C.A. *Rock slope stability / Устойчивость горных откосов*. Society for Mining Metallurgy and Exploration Inc., 2018.
- [17] Neil Bar, Nick Barton *Q-slope method for rock slope engineering (Metanalytical classification method)*. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2017. DOI:10.1007/s00603-017-1305-0
- [18] Hoek E., Brown E.T. *Updated Hoek-Brown failure criterion for rock masses*. Rocscience White Paper. 2002
- [19] M.Istroilov Hisoblash usullari 2-qism, Oliy o‘quv yurtlari talabalari uchun darslik. – T.: Iqtisod-Moliya, 2008. – 320 b.

- [20] Норов Ю.Д., Заиров Ш.Ш. *Проектирование карьеров и обеспечение устойчивости бортов*. –Монография. – Навои, Изд. «Навои», 2015. – 252 с.
- [21] G.M. Norov, O.J. Khudayberdiev, S.Kh. Rakhmatov, M.R. Mekhmonov, *Assessment of the stability of the pit wall using the cubic spline method and the slope angle of the pit wall trajectory*. EPRA International Journal of Research and Development (IJRD), USA, August 2023, Volume: 8, Issue: 8. p.75-80.
- [22] Норов Г.М., Худайбердиев О.Ж., Рахматов С.Х., Мехмонов М.Р. *Determination of convex shape of the trajectory of the quarry board trajectory by the method of cubic splines*. The American Journal of Interdisciplinary Innovations and Research, USA, November 2023, Volume 05, Issue 11, Pages: 51-62.
- [23] Норов Г.М., Худайбердиев О.Ж., Рахматов С.Х., Карабекян С.Х. Задача об определении формы отвалов, методах вычисления их объемов и массы. Горный вестник Узбекистана научно-технический и производственный журнал, №4(95) октябрь-декабрь 2023. стр. 69-71 стр.
- [24] Норов Г.М., Худайбердиев О.Ж. *Определение координат центра масс горного массива ограниченного бортом карьеры и плоскостью скольжения*. Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy Universitetining "O'zMU xabarlari" nomli ilmiy jurnali 2024 2/2 soni 124-130 b. <https://journalsnuu.uz/index.php/1/issue/view/141/556>
- [25] Насиров У.Ф.,Худайбердиев О.Ж., Норов Г.М. *Определение коэффициента запаса устойчивости центра тяжести горного массива. Бухоро давлат университети илмий ахбороти" илмий-назарий журнали №6 сонида 2025. – 96-101 б.*
https://buxdu.uz/media/jurnallar/ilmiy_axborot/ilmiy_axborot_6_2025_1.pdf