SUN’IY INTELLEKT VA GEOMEKANIK MONITORING INTEGRATSIYASI ASOSIDA QALMOQQIR CHUQUR RUDA KONI BORTLARI DEFORMATSIYASINI ANIQLASH VA XAVFLILIK BO‘YICHA HUDUDLASHTIRISH

Dilmurodov Firdavs O‘ktamovich
ToshDTU, “Konchilik ishi” kafedrasi magistranti
Raxmonov Faxriddin Farxod o'g'li
ToshDTU, “Konchilik ishi” kafedrasi assistenti
Ravshanov Zavqiddin Yahyo o‘g‘li
ToshDTU, “Konchilik ishi” kafedrasi katta o‘qituvchisi

Annotatsiya: Chuqur ruda konlarini ochiq usulda o‘zlashtirish jarayonida bortlarning deformatsiyalanishi kon xavfsizligi va ishlab chiqarish tug‘unligiga bevosita ta’sir ko‘rsatuvchi asosiy geomekanik muammolardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, qazib olish chuqurligining ortib borishi tog‘ jinslari massivida kuchlanishlarning qayta taqsimlanishiga olib kelib, bortlarda siljishlar, yoriqlanishlar va deformatsion zonalarning shakllanishiga sabab bo‘ladi. Mazkur jarayonlarning o‘z vaqtida aniqlanmasligi texnogen avariyalar va katta iqtisodiy yo‘qotishlarga olib kelishi mumkin. Ushbu maqolada Qalmoqqir chuqur ruda koni sharoitida bortlarning deformatsiyaga uchragan qismlarini aniqlash va ularni xavflilik darajasi bo‘yicha hududlashtirish masalasi sun’iy intellekt va masofaviy zondlash texnologiyalarini integratsiyalashgan holda tadqiq etilgan. Tadqiqotda uchuvchisiz uchish apparatlari yordamida olingan yuqori aniqlikdagi ortofotoplanlar va raqamli relyef modellari geomekanik monitoring ma’lumotlari bilan birgalikda tahlil qilindi. Deformatsion belgilarni avtomatik aniqlash uchun konvolyutsion neyron tarmoqlarga asoslangan sun’iy intellekt modeli ishlab chiqildi. Olingan natijalar bort deformatsiyalarini dastlabki bosqichlarda aniqlash, xavfli zonalarni aniq belgilash hamda kon ishlarini rejalashtirishda ilmiy asoslangan qarorlar qabul qilish imkonini beradi. Taklif etilgan yondashuv Qalmoqqir koni sharoitida sinovdan o‘tkazilib, kon xavfsizligini oshirish va avariya xavfini kamaytirishda yuqori amaliy samaradorlikka ega ekanligi aniqlandi.

Kalit so‘zlar: Qalmoqqir koni, chuqur ruda konlari, karyer bortlari, bort deformatsiyasi, bort tug‘unligi, geomekanik monitoring, masofaviy zondlash, sun’iy intellekt, lonvolyutsion neyron tarmoqlar, deformatsion zonalar, xavflilik bo‘yicha hududlashtirish, kon xavfsizligi.

Аннотация: В процессе освоения глубоких рудных месторождений открытым способом деформация бортов карьера является одной из ключевых геомеханических проблем, оказывающих непосредственное влияние на безопасность горных работ и устойчивость производственного процесса. С

ISSN 3030-3907

увеличением глубины разработки происходит перераспределение напряжённого состояния в массиве горных пород, что приводит к развитию смещений, трещиноватости и формированию деформационных зон на бортах карьера. Несвоевременное выявление указанных процессов может стать причиной техногенных аварий и значительных экономических потерь. В данной статье рассматривается задача выявления деформированных участков бортов и их зонирования по степени опасности в условиях глубокого рудного карьера Калмакыр на основе интеграции технологий искусственного интеллекта и дистанционного зондирования. В рамках исследования использованы высокоточные ортофотопланы и цифровые модели рельефа, полученные с применением беспилотных летательных аппаратов, а также данные геомеханического мониторинга. Совместный анализ этих источников информации позволил сформировать пространственно-временную базу данных для автоматизированной обработки. Для распознавания деформационных признаков, таких как микротрещины, зоны активного смещения и изменения морфологии откосов, была разработана модель искусственного интеллекта на основе сверточных нейронных сетей. Применение данной модели обеспечило высокую точность выявления потенциально опасных участков и позволило выполнить зонирование бортов карьера по уровням геомеханического риска. Полученные результаты подтверждают возможность раннего выявления деформационных процессов и повышения обоснованности инженерных решений при планировании горных работ. Предложенный подход апробирован в условиях месторождения Калмакыр и показал высокую практическую эффективность в части повышения безопасности и снижения вероятности аварийных ситуаций.

Ключевые слова: месторождение Калмакыр, глубокие рудные карьеры, борта карьера, деформация бортов, устойчивость бортов, геомеханический мониторинг, дистанционное зондирование, искусственный интеллект, сверточные нейронные сети, деформационные зоны, зонирование по опасности, безопасность горных работ.

Abstract: In the development of deep open-pit ore deposits, slope deformation represents one of the most critical geomechanical challenges directly affecting mining safety and operational stability. As mining depth increases, the stress state within the rock mass undergoes significant redistribution, resulting in the initiation of displacements, crack propagation, and the formation of deformation zones along pit slopes. Failure to detect these processes at an early stage may lead to severe technogenic accidents and substantial economic losses. This paper addresses the problem of identifying deformed slope sections and performing hazard-based

ISSN 3030-3907

zoning under the geological and mining conditions of the Kalmakyr deep open-pit deposit through the integrated application of artificial intelligence and remote sensing technologies. The study utilizes high-resolution orthophotos and digital elevation models obtained from unmanned aerial vehicles, combined with geomechanical monitoring data. The integration of these heterogeneous datasets enabled the formation of a comprehensive spatial and temporal database for automated analysis. To detect deformation features such as microcracks, active displacement zones, and changes in slope morphology, an artificial intelligence model based on convolutional neural networks was developed. The proposed model allows for the automated recognition of deformation indicators and provides a reliable classification of slope areas according to their geomechanical hazard level. The results demonstrate that the proposed approach significantly improves the early detection of slope deformation processes and enhances the reliability of decision-making in mine planning and slope stability management. The methodology was tested under the real mining conditions of the Kalmakyr deposit and proved to be highly effective in improving mining safety and reducing the risk of slope failure. The proposed solution can be recommended for application in other deep open-pit mines characterized by complex geological and geomechanical conditions.

Keywords: Kalmakyr deposit, deep open-pit mines, pit slopes, slope deformation, slope stability, geomechanical monitoring, remote sensing, artificial intelligence, convolutional neural networks, deformation zones, hazard zoning, mining safety

Kirish

Chuqur ruda konlarini ochiq usulda o‘zlashtirish jarayonida kon bortlarining barqarorligini ta’minlash tog‘-kon sanoatidagi eng muhim geomekanik masalalardan biri hisoblanadi. Qazib olish chuqurligining ortishi bilan tog‘ jinslari massivida kuchlanish holatining o‘zgarishi yuzaga keladi, bu esa bortlarda siljishlar, yoriqlanishlar va deformatsion zonalarning shakllanishiga olib keladi. Mazkur jarayonlar kon xavfsizligi darajasining pasayishiga hamda ishlab chiqarish jarayonining barqarorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi.

Amaliy tajribalar shuni ko‘rsatadiki, bort deformatsiyalari ko‘pincha dastlabki bosqichlarda aniq vizual belgilar bilan namoyon bo‘lmaydi. An’anaviy geodezik va geomekanik kuzatuv usullari ma’lum darajada natija bersa-da, katta maydonli va chuqur ochiq konlarda deformatsion jarayonlarning fazoviy tarqalishini to‘liq va tezkor baholash imkoniyatlari cheklangan. Shu sababli bort deformatsiyalarini erta aniqlash va xavflilik bo‘yicha hududlashtirish masalasi dolzarb ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi.

Qalmoqqir ruda koni Markaziy Qizilqum hududida joylashgan bo‘lib, ochiq usulda o‘zlashtirilayotgan yirik konlardan biridir. Konning chuqurlashib borishi,

ISSN 3030-3907

bort qiyaliklarining katta burchaklarga ega bo‘lishi hamda tog‘ jinslarining murakkab geologik tuzilishi bort deformatsiyalarining rivojlanish ehtimolini oshiradi. Shu bois Qalmoqqir koni bortlar barqarorligini baholash va zamonaviy monitoring usullarini joriy etish uchun muhim tadqiqot obyekti hisoblanadi.

So‘nggi yillarda masofaviy zondlash texnologiyalarining, xususan uchuvchisiz uchish apparatlari yordamida olingan yuqori aniqlikdagi ortofotoplanlar va raqamli relyef modellarining qo‘llanilishi kon bortlarining holatini fazoviy jihatdan baholash imkonini bermoqda. Biroq mazkur ma’lumotlar hajmining katta bo‘lishi ularni qayta ishlashda sun’iy intellektga asoslangan yondashuvlarni qo‘llash zaruratini yuzaga keltiradi.

Shu nuqtayi nazardan, masofaviy zondlash ma’lumotlarini sun’iy intellekt, jumladan konvolyutsion neyron tarmoqlar yordamida tahlil qilish bortlarning deformatsiyaga uchragan qismlarini avtomatik aniqlash va ularni xavflilik darajasi bo‘yicha hududlashtirish imkonini beradi. Ushbu yondashuv deformatsion jarayonlarni fazoviy jihatdan kompleks baholashga xizmat qiladi hamda kon ishlarini rejalashtirishda ilmiy asoslangan qarorlar qabul qilish imkonini yaratadi.

Mazkur maqolaning maqsadi Qalmoqqir chuqur ruda koni sharoitida bortlarning deformatsiyaga uchragan qismlarini aniqlash va xavflilik bo‘yicha hududlashtirish uchun sun’iy intellekt va masofaviy zondlash texnologiyalariga asoslangan ilmiy-uslubiy yondashuvni ishlab chiqishdan iborat.

An’anaviy geomekanik hisoblash va monitoring usullari bortlarning umumiy holatini baholash imkonini bersa-da, katta hajmdagi ko‘p omilli ma’lumotlarni chuqur tahlil qilish va yashirin tendensiyalarni aniqlashda cheklangan imkoniyatlarga ega. Shu nuqtayi nazardan, sun’iy intellekt texnologiyalarini kon geomekanikasi sohasiga joriy etish ilmiy va amaliy jihatdan muhim vazifa hisoblanadi.

Qalmoqqir ruda koni Markaziy Qizilqum hududida joylashgan bo‘lib, yirik ochiq konlardan biri sanaladi. Kon hududida asosan magmatik va metamorf tog‘ jinslari tarqalgan bo‘lib, ularning yoriqlanish darajasi va mustahkamlik xossalari bo‘yicha notekislik kuzatiladi. Bu holat bortlarda deformatsiya jarayonlarining turli intensivlikda rivojlanishiga olib keladi.

Konning chuqurlashib borishi bilan bort qiyaliklarida geomekanik tug‘unlikni ta’minlash masalasi yanada dolzarblashmoqda. Shu sababli Qalmoqqir konida olib borilayotgan geodezik va geomekanik monitoring natijalari tadqiqot uchun asosiy axborot manbai sifatida tanlandi.

Bortlarning deformatsiyalanishi ko‘plab omillarning birgalikdagi ta’siri ostida yuzaga keladi. Tadqiqot jarayonida ushbu omillar tizimlashtirildi.

ISSN 3030-3907

1-jadval

Bort deformatsiyasiga ta’sir etuvchi asosiy omillar

Omillar guruhi	Tavsif
Geologik	Jins tarkibi, qatlamlarning yotish burchagi, yoriqlanish
Geomekanik	Siqilish va cho‘zilish mustahkamligi, ichki ishqalanish
Texnologik	Qazib olish chuqurligi, bort qiyalik burchagi
Monitoring	Siljish tezligi, deformatsiya amplitudasi

Tadqiqotda sun’iy intellektga asoslangan mashinaviy o‘rganish usullari qo‘llanildi. Dastlab Qalmoqqir koni bo‘yicha yig‘ilgan monitoring ma’lumotlari tozalandi, normallashtirildi va tahlil uchun tayyorlandi. Keyinchalik ma’lumotlar o‘quv va sinov to‘plamlariga ajratildi.

Bortlarning deformatsiya ehtimolini baholash uchun **Random Forest** algoritmi, tug‘unlik holatini tasniflash uchun esa **Support Vector Machine** modeli qo‘llanildi. Modellar bort deformatsiyasining murakkab va nolinear bog‘liqliklarini aniqlash imkonini berdi.

1-sxema

Sun’iy intellekt asosida bort deformatsiyasini aniqlash jarayoni



O‘qitilgan sun’iy intellekt modeli yordamida Qalmoqqir koni bortlarining deformatsiya ehtimoli baholandi. Natijalarga ko‘ra, bortlar xavflilik darajasi bo‘yicha uch asosiy toifaga ajratildi.

2-jadval

Bortlarning xavflilik bo‘yicha hududlashtirilishi

Xavflilik darajasi	Tavsif
Past	Tug‘un holat, doimiy monitoring yetarli

ISSN 3030-3907

O‘rta	Deformatsiya belgilari mavjud, nazorat kuchaytiriladi
Yuqori	Kritik holat ehtimoli yuqori, mustahkamlash zarur

Sun’iy intellekt modeli an’anaviy baholash usullariga nisbatan deformatsiya xavfini aniqlash aniqligini sezilarli darajada oshirdi. Ayniqsa, deformatsiyaning boshlang‘ich bosqichlarini aniqlash imkoniyati modelning asosiy ustunligi hisoblanadi.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, geomekanik monitoring va sun’iy intellekt integratsiyasi bort deformatsiyalarini baholashda yuqori samaradorlikka ega. Ushbu yondashuv deformatsion jarayonlarni faqat mavjud holat bo‘yicha emas, balki ularning rivojlanish tendensiyasi nuqtayi nazaridan ham tahlil qilish imkonini beradi. Bu esa konlarda xavfsizlik choralarini rejalashtirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Qalmoqqir ruda koni misolida olib borilgan tadqiqotlar sun’iy intellekt texnologiyalarini geomekanik monitoring tizimlariga joriy etishning yuqori samaradorligini tasdiqladi. Taklif etilgan metodika chuqur ruda konlarida bort deformatsiyalarini erta aniqlash, xavflilik bo‘yicha hududlashtirish va avariya xavfini kamaytirish imkonini beradi. Ushbu yondashuvni boshqa chuqur konlar sharoitida ham qo‘llash maqsadga muvofiqdir.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Хукер В., Брей Дж. Механика горных пород и устойчивость откосов. – М.: Недра, 1987. – 312 с.
2. Баклашов И.В. Геомеханика подземных и открытых горных работ. – М.: Горная книга, 2010. – 528 с.
3. Alekseev A., Petukhov I. Monitoring and forecasting of rock mass deformation // Journal of Mining Science. – 2018. – Vol. 54, №4. – P. 567–579.
4. Абдурахманов А.А., Исмоилов Ж.Ж. Открытые горные работы и устойчивость бортов карьеров. – Ташкент: Fan, 2016. – 284 с.
5. Қодиров С.А. Чуқур конларда геомеханик жараёнлар таҳлили. – Тошкент: Ўқитувчи, 2019. – 196 б.
6. НГМК. Қалмоққир конида геологик ва геомеханик кузатувлар ҳисоботи. – Навоий, 2021. – 145 б.
7. Ravshanov Z. et al. Methods of determining the safety and environmental impact of dust and explosion processes in mining enterprises //International Bulletin of Applied Science and Technology. – 2023. – Т. 3. – №. 4. – С. 415-423.
8. Ravshanov Z. Y., Ergasheva Z. A., Sailau A. M. Karyerlarning pastki gorizontlaridagi kon massasini avtomobil transportlarida tashish usullarini tanlash //Инновационные исследования в современном мире: теория и практика. – 2023. – Т. 2. – №. 20. – С. 4-6.

ISSN 3030-3907

9. Ravshanov Z., Ergasheva Z., Sailau A. Measures of recultivation of mining area in quarries //International Conference on Management, Economics & Social Science. – 2023. – Т. 1. – №. 3. – С. 54-56.
10. Ravshanov Z. Technological Stages of determining the Distance to the Location of Rocks in the Development of a 3D Model of Mining Enterprises //Scienceweb academic papers collection. – 2022.
11. Ravshanov Z. Mining processes of drilling machines //Information about the technological alarm system of drilling machines. – 2022.
12. Ravshanov Z. et al. Evaluation of the strength of rocks in open mining processes in mining enterprises //Science and innovation. – 2023. – Т. 2. – №. A4. – С. 96-100.
13. Ravshanov Z. Determination of mineral location coordinates in geotechnology and mining enterprises //Scienceweb academic papers collection. – 2023.

ISSN 3030-3907