SUN’IY INTELLEKT ASOSIDA QALMOQQIR CHUQUR RUDA KONI BORTLARI DEFORMATSIYASINING RIVOJLANISHINI PROGNOZLASH VA XAVFLILIK BO‘YICHA HUDUDLASHTIRISH

Dilmurodov Firdavs O‘ktamovich
ToshDTU, “Konchilik ishi” kafedrasi magistranti
Kadirkulov Dilshod Iskandar 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 bortlarda yuzaga keladigan deformatsion jarayonlar tog‘-kon sanoatidagi eng murakkab va xavfli geomekanik hodisalardan biri hisoblanadi. Qazib olish chuqurligining ortib borishi natijasida tog‘ jinslari massivida kuchlanish holatining o‘zgarishi sodir bo‘lib, bu bortlarda siljishlar, yoriqlanishlar va deformatsiya tezligining bosqichma-bosqich ortishiga olib keladi. Mazkur jarayonlarning rivojlanishini faqat mavjud holat bo‘yicha baholash ko‘pincha yetarli bo‘lmaydi, shu sababli deformatsiyani oldindan prognozlash masalasi alohida ahamiyat kasb etadi. Ushbu maqolada Qalmoqqir chuqur ruda koni sharoitida bort deformatsiyalarining vaqt bo‘yicha rivojlanishini prognozlash va ularni xavflilik darajasi bo‘yicha hududlashtirish masalasi sun’iy intellekt texnologiyalari asosida tadqiq etilgan. Tadqiqotda geomekanik monitoring natijalari, tog‘ jinslarining fizik-mexanik xossalari hamda kon ishlari texnologik parametrlariga asoslangan vaqt qatorlari shakllantirildi. Ushbu ma’lumotlar asosida Long Short-Term Memory (LSTM) neyron tarmog‘iga asoslangan prognozlash modeli ishlab chiqildi. LSTM modeli deformatsiya jarayonlarining yashirin va nolinear bog‘liqliklarini aniqlash imkonini berib, bortlarda deformatsiya tezligining ortish tendensiyasini oldindan baholashga xizmat qiladi. Model natijalari asosida bortlar barqaror, xavfli va kritik holatdagi hududlarga ajratildi hamda har bir zona uchun mos profilaktik va texnologik choralar tavsiya etildi. Olingan natijalar Qalmoqqir koni sharoitida sinovdan o‘tkazilib, deformatsion jarayonlarni prognozlashga asoslangan yondashuv kon xavfsizligini oshirish, avariya xavfini kamaytirish va kon ishlarini rejalashtirishda ilmiy asoslangan qarorlar qabul qilish imkonini berishini ko‘rsatdi. Taklif etilgan metodika chuqur ruda konlarida bort barqarorligini boshqarishda proaktiv yondashuvni joriy etish uchun samarali ilmiy-amaliy vosita hisoblanadi.

Kalit so‘zlar: qalmoqqir koni, chuqur ruda konlari, kon bortlari, bort deformatsiyasi, bort barqarorligi, geomekanik monitoring, sun’iy intellekt, mashinaviy o‘rganish, lstm neyron tarmoqlari, deformatsiyani prognozlash, xavflilik bo‘yicha hududlashtirish, kon xavfsizligi.

ISSN 3030-3907

Аннотация: В процессе разработки глубоких рудных месторождений открытым способом деформационные процессы, возникающие на бортах карьера, относятся к числу наиболее опасных геомеханических явлений с точки зрения обеспечения безопасности горных работ. Увеличение глубины добычи приводит к перераспределению напряжений в массиве горных пород, что вызывает развитие смещений, трещиноватости и постепенный рост скорости деформаций бортов. Оценка данных процессов только по текущему состоянию зачастую является недостаточной, в связи с чем особую актуальность приобретает задача прогнозирования их дальнейшего развития. В настоящей статье рассматривается проблема прогнозирования развития деформаций бортов и их зонирования по степени опасности в условиях глубокого рудного месторождения Калмакыр на основе технологий искусственного интеллекта. В ходе исследования сформированы временные ряды, включающие результаты геомеханического мониторинга, физико-механические свойства горных пород и технологические параметры горных работ. На основе этих данных разработана прогностическая модель, использующая нейронную сеть типа Long Short-Term Memory (LSTM). Применение LSTM-модели позволило выявить скрытые и нелинейные зависимости в развитии деформационных процессов и выполнить заблаговременную оценку тенденций роста скорости деформаций бортов. По результатам моделирования борта карьера были разделены на зоны стабильного, опасного и критического состояния, для которых предложены соответствующие профилактические и технологические мероприятия. Апробация методики в условиях месторождения Калмакыр показала, что прогнозно-ориентированный подход обеспечивает повышение надежности оценки устойчивости бортов, способствует снижению риска аварийных ситуаций и позволяет принимать научно обоснованные решения при планировании горных работ.

Ключевые слова: месторождение Калмакыр, глубокие рудные карьеры, борта карьера, деформация бортов, устойчивость бортов, геомеханический мониторинг, искусственный интеллект, машинное обучение, нейронные сети LSTM, прогнозирование деформаций, зонирование по степени опасности, безопасность горных работ

Abstract: In the development of deep open-pit ore deposits, deformation processes occurring along pit slopes represent one of the most critical geomechanical challenges in terms of mining safety. As mining depth increases, stress redistribution within the rock mass leads to slope displacements, fracturing, and a gradual increase in deformation rates. Assessing these processes solely based on their current state is often insufficient; therefore, forecasting their future

ISSN 3030-3907

development becomes a key task in modern mining engineering. This paper investigates the problem of forecasting the temporal evolution of pit slope deformation and performing hazard-based zoning under the conditions of the Kalmakyr deep open-pit deposit using artificial intelligence technologies. The study is based on time-series data derived from geomechanical monitoring, physical and mechanical properties of the rock mass, and technological parameters of mining operations. A predictive model employing a Long Short-Term Memory (LSTM) neural network was developed using these data. The LSTM-based model enables the identification of hidden and nonlinear relationships governing deformation processes and provides an advance assessment of increasing deformation trends along pit slopes. Based on the modeling results, the slopes were classified into stable, hazardous, and critical zones, and appropriate preventive and technological measures were proposed for each category. Practical testing of the proposed methodology under the conditions of the Kalmakyr deposit demonstrated that the forecast-oriented approach significantly improves the reliability of slope stability assessment, enhances mining safety, and reduces the risk of accident-related events by supporting scientifically grounded decision-making in mine planning.

Keywords: Kalmakyr deposit, deep open-pit mines, pit slopes, slope deformation, slope stability, geomechanical monitoring, artificial intelligence, machine learning, LSTM neural networks, deformation forecasting, hazard zoning, mining safety.

Kirish

Chuqur ruda konlarini ochiq usulda o‘zlashtirish jarayonida kon bortlarining barqarorligini ta’minlash zamonaviy tog‘-kon sanoatidagi eng muhim geomekanik vazifalardan biri hisoblanadi. Qazib olish chuqurligining ortib borishi tog‘ jinslari massivida kuchlanish holatining murakkablashuviga olib kelib, bortlarda deformatsion jarayonlarning bosqichma-bosqich rivojlanishiga sabab bo‘ladi. Ushbu jarayonlar dastlab sekin kechsa-da, ma’lum sharoitlarda keskin faollashib, bortlarning qulashiga va jiddiy texnogen avariyalarga olib kelishi mumkin.

Amaliy tajriba shuni ko‘rsatadiki, bort deformatsiyalarini faqat mavjud holat bo‘yicha baholash ko‘pincha yetarli bo‘lmaydi. An’anaviy geodezik va geomekanik monitoring usullari deformatsiyaning joriy qiymatlarini aniqlash imkonini bersa-da, jarayonlarning kelajakdagi rivojlanish tendensiyasini oldindan baholash imkoniyatlari cheklangan. Shu sababli deformatsion jarayonlarni prognozlashga yo‘naltirilgan yondashuvlarni ishlab chiqish kon xavfsizligini ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Qalmoqqir ruda koni Markaziy Qizilqum hududida joylashgan bo‘lib, ochiq usulda o‘zlashtirilayotgan yirik konlardan biridir. Konning chuqurlashib borishi, bort qiyaliklarining katta burchaklarga ega bo‘lishi hamda tog‘ jinslarining

ISSN 3030-3907

murakkab geologik tuzilishi bort deformatsiyalarining rivojlanish ehtimolini oshiradi. Shu bois Qalmoqqir koni bort deformatsiyalarini prognozlash bo‘yicha ilg‘or usullarni qo‘llash uchun muhim tadqiqot obyekti hisoblanadi.

So‘nggi yillarda sun’iy intellekt texnologiyalarining rivojlanishi vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchi murakkab jarayonlarni tahlil qilish va prognozlash imkoniyatlarini kengaytirdi. Xususan, Long Short-Term Memory (LSTM) neyron tarmoqlari vaqt qatorlaridagi yashirin va nolinear bog‘liqliklarni aniqlash qobiliyati bilan ajralib turadi. Ushbu xususiyatlar LSTM modellarini bort deformatsiyalarining rivojlanishini prognozlashda samarali vositaga aylantiradi.

Shu nuqtayi nazardan, ushbu maqolada Qalmoqqir chuqur ruda koni sharoitida bort deformatsiyalarining vaqt bo‘yicha rivojlanishini prognozlash va xavflilik bo‘yicha hududlashtirish masalasi LSTM neyron tarmoqlariga asoslangan sun’iy intellekt modeli yordamida tadqiq etiladi. Taklif etilgan yondashuv deformatsion jarayonlarni erta bosqichda aniqlash, xavfli hududlarni oldindan belgilash va kon ishlarini rejalashtirishda ilmiy asoslangan qarorlar qabul qilish imkonini beradi.

An’anaviy geomekanik usullar deformatsiyaning joriy holatini aniqlashga xizmat qilsa-da, vaqt bo‘yicha murakkab va nolinear o‘zgarishlarni oldindan baholash imkoniyati cheklangan. Ushbu muammoni hal etishda sun’iy intellekt, xususan vaqt qatorlari bilan ishlovchi neyron tarmoqlar samarali vosita hisoblanadi.

Qalmoqqir ruda koni Markaziy Qizilqum hududida joylashgan bo‘lib, ochiq usulda o‘zlashtirilayotgan yirik konlardan biri sanaladi. Kon bortlari turli geologik sharoitlarga ega bo‘lib, ayrim uchastkalarda kuchlanishlarning notekis taqsimlanishi kuzatiladi.

Konning chuqurlashib borishi bilan bortlarda deformatsiya tezligining ortishi qayd etilgan. Shu sababli Qalmoqqir koni deformatsion jarayonlarni prognozlashga yo‘naltirilgan sun’iy intellekt modellarini sinovdan o‘tkazish uchun qulay obyektdir.

Tadqiqotda quyidagi vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchi ma’lumotlar ishlatildi:

1-jadval

LSTM modeli uchun kirish ma’lumotlari

Parametr guruhi	Tavsif
Geomekanik	Siljish tezligi, deformatsiya amplitudasi
Geologik	Jins mustahkamligi, yoriqlanish darajasi
Texnologik	Qazib olish chuqurligi, bort qiyaligi
Vaqt omili	Monitoring davriyligi

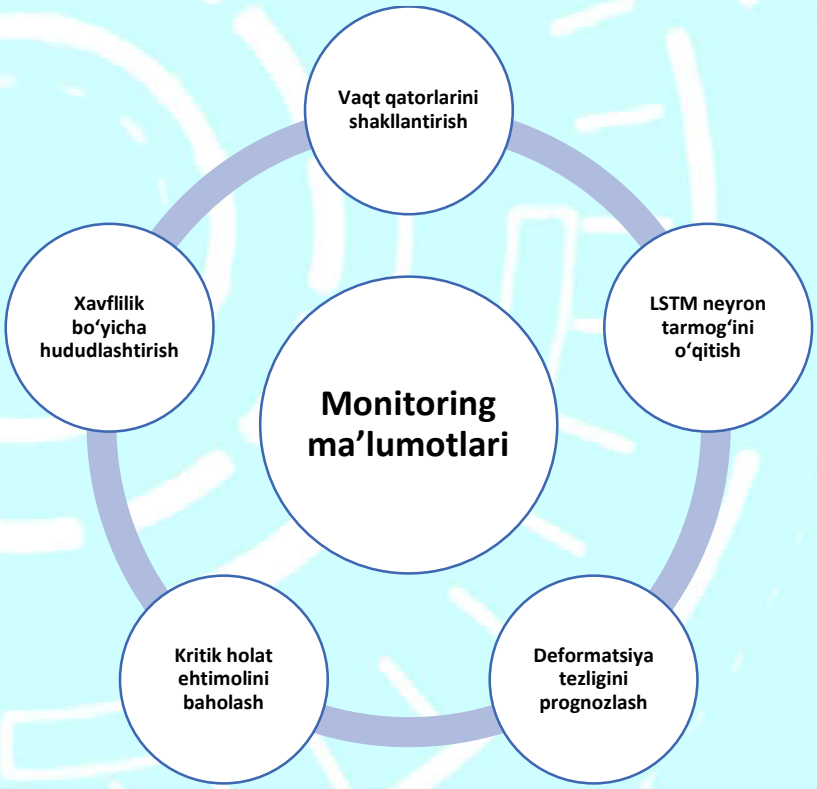
Deformatsiya jarayonlarini prognozlash uchun **Long Short-Term Memory (LSTM)** neyron tarmog‘i tanlandi. Ushbu model vaqt qatorlaridagi yashirin

ISSN 3030-3907

bog‘liqliklarni aniqlash va uzoq muddatli tendensiyalarni hisobga olish imkoniyatiga ega.

1-sxema

Bort deformatsiyasini prognozlash algoritmi



LSTM modeli yordamida Qalmoqqir koni bortlarida deformatsiya jarayonlarining kelgusi davrdagi rivojlanishi prognoz qilindi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, ayrim uchastkalarda deformatsiya tezligining keskin ortishi ehtimoli mavjud.

2-jadval

Prognoz natijalariga ko‘ra bortlar holati

Prognoz holati	Tavsif
Barqaror	Deformatsiya tezligi past
Xavfli	Deformatsiya tezligi oshish tendensiyasiga ega
Kritik	Qisqa muddatda qulash ehtimoli mavjud

Prognoz natijalari asosida bortlar xavflilik darajasi bo‘yicha hududlashtirildi va har bir zona uchun tegishli profilaktik choralar tavsiya etildi.

Prognozlashga yo‘naltirilgan sun’iy intellekt modeli deformatsion jarayonlarni erta bosqichda aniqlash imkonini beradi. Bu yondashuv Qalmoqqir konida bort barqarorligini boshqarishda reaktiv emas, balki **proaktiv** strategiyani qo‘llash imkonini yaratadi.

ISSN 3030-3907

Model natijalari kon ishlarini rejalashtirish, bortlarni mustahkamlash va xavfli hududlarda ish rejimini cheklash bo‘yicha ilmiy asoslangan qarorlar qabul qilishga xizmat qiladi.

Qalmoqqir chuqur ruda koni misolida olib borilgan tadqiqotlar sun’iy intellekt, xususan LSTM neyron tarmoqlari yordamida bort deformatsiyalarining rivojlanishini prognozlash yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko‘rsatdi. Taklif etilgan metodika xavflilik bo‘yicha hududlashtirish aniqligini oshiradi va konlarda avariya xavfini kamaytirishga xizmat qiladi. Ushbu yondashuvni boshqa chuqur ruda konlarida 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.
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.

ISSN 3030-3907

12. Ravshanov Z. et al. Evaluation of the strength of rocks in open mining processes in mining enterprises //Science and innovation. – 2023. – T. 2. – №. A4. – C. 96-100.
13. Ravshanov Z. Determination of mineral location coordinates in geotechnology and mining enterprises //Scienceweb academic papers collection. – 2023.

ISSN 3030-3907