

SANOAT XAVFSIZLIGINI OSHIRISHDA OCHIQ KON ISHLARI  
MONITORINGINING INNOVATSION MARKSHEYDERLIK TA'MINOTI VA  
RAQAMLI GEOAXBOROT TEXNOLOGIYALARI (O'ZBEKISTON KONLARI  
MISOLIDA)

Abdiazizov Asliddin Adham o'g'li  
Qarshi davlat texnika universiteti assistenti  
G'ayratova Madinabonu Zaxriddin qizi  
Mirzayev Nurillo Soxatillo o'g'li  
Qarshi davlat texnika universiteti talabalari

**Annotatsiya:** Mazkur maqolada O'zbekiston Respublikasidagi yirik ochiq kon korxonalarida sanoat xavfsizligini ta'minlash va geotexnik xavflarni kamaytirish maqsadida zamonaviy marksheyderlik monitoring tizimlarini joriy etishning ilmiy-amaliy asoslari tadqiq etilgan. Tadqiqot davomida GNSS/RTK texnologiyalari, LiDAR lazerli skanerlash, UUA aerofotogrammetriyasi, InSAR radar interferometriyasi, geoaxborot tizimlari (GIS), BIM va Digital Twin platformalari asosida raqamli monitoring tizimlarining samaradorligi kompleks tahlil qilindi. Muruntov, Ko'kpatas, Qalmoqqir va Angren konlari misolida geomexanik jarayonlarni real vaqt rejimida monitoring qilish, bort deformatsiyalarini prognozlash hamda avariya holatlarning oldini olishning innovatsion usullari ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalari zamonaviy raqamli monitoring tizimlari sanoat xavfsizligini oshirish, kon-geologik jarayonlarni prognozlash aniqligini yaxshilash va ishlab chiqarish samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatdi.

**Kalit so'zlar:** sanoat xavfsizligi, marksheyderlik monitoringi, GNSS, RTK, LiDAR, InSAR, UUA, Digital Twin, GIS, BIM, sun'iy intellekt, deformatsion monitoring, ochiq kon ishlari, geotexnik xavf, uch o'lchamli modellash tirish.

## KIRISH

Jahon konchilik sanoatida ochiq kon ishlarining chuqurlashib borishi, texnogen yuklamalarning ortishi va geodinamik jarayonlarning faollashuvi sanoat xavfsizligini ta'minlashning yangi ilmiy-texnologik yondashuvlarini talab qilmoqda. Ayniqsa, murakkab kon-geologik va gidrogeologik sharoitlarda faoliyat yuritayotgan yirik karyerlarda bortlarning turg'unligini nazorat qilish, deformatsion jarayonlarni prognozlash hamda favqulodda vaziyatlarning oldini olish dolzarb muammolardan biri hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasida Muruntov, Ko'kpatas, Yoshlik-I, Qalmoqqir va Angren kabi strategik konlarda qazib olish chuqurligining ortib borishi natijasida quyidagi xavfli jarayonlar kuchaymoqda: bortlarning surilishi, geomexanik deformatsiyalar, tektonik faollik, gidrogeologik bosim, portlatish ishlari ta'siridagi siljishlar, texnogen yoriqlar.

Ushbu xavfli jarayonlarni kuzatishda an'anaviy marksheyderlik kuzatuv usullari katta hajmdagi geoma'lumotlarni operativ qayta ishlash imkonini cheklaydi. Shu sababli konchilik sanoatida Industry 4.0 konsepsiyasi asosida raqamli geotexnik monitoring tizimlarini joriy etish dolzarb ilmiy yo'nalishga aylandi.

Bugungi kunda rivojlangan davlatlar konchilik sanoatida quyidagi innovatsion texnologiyalar keng joriy etilmoqda: sun'iy yo'ldoshli GNSS monitoring, radar interferometriyasi (InSAR), LiDAR lazerli skanerlash, UUA aerofotogrammetriyasi, Digital Twin texnologiyasi, IoT sensor tizimlari, sun'iy intellekt asosidagi geotexnik prognozlash.

Mazkur texnologiyalar real vaqt rejimida kon holatini monitoring qilish, xavfli deformatsiyalarni erta aniqlash va avariya xavflarni kamaytirishga xizmat qiladi.

Adabiyotlar tahlili. Konchilik sanoatida geotexnik monitoring masalalari bo'yicha ko'plab ilmiy tadqiqotlar amalga oshirilgan.

Vasyanovich, Usoltseva va Murzin tadqiqotlarida GNSS texnologiyalarining ochiq kon ishlarida koordinatalarni santimetr aniqligida aniqlash imkoniyatlari asoslab berilgan [1]. Mualliflar RTK texnologiyasi yordamida real vaqt monitoringini tashkil etish mumkinligini ko'rsatgan.

Antonovich tomonidan sun'iy yo'ldoshli geodeziyaning matematik asoslari va differensial GNSS tizimlarining aniqlik parametrlari chuqur tahlil qilingan [2].

Kashkin va Lurye tomonidan masofadan zondlash texnologiyalarining kon monitoringidagi imkoniyatlari o'rganilib, kosmik tasvirlar yordamida deformatsion jarayonlarni keng hududlarda tezkor aniqlash mumkinligi isbotlangan [3,4].

So'nggi yillarda InSAR radar interferometriyasi asosidagi monitoring usullari keng rivojlandi. Ushbu texnologiya millimetr aniqlikdagi siljishlarni aniqlash imkonini beradi. ESA Sentinel-1 sun'iy yo'ldoshlari asosida olib borilgan tadqiqotlarda bort deformatsiyalarini erta aniqlash imkoniyati asoslab berilgan.

Xalqaro amaliyotda Rio Tinto, BHP, Vale va Codelco kompaniyalari quyidagi texnologiyalarni keng joriy qilgan:

- Hexagon MineProtect;
- Leica GeoMoS;
- GroundProbe SSR radar tizimi;
- Trimble 4D Control;
- Bentley OpenMining.

Mazkur tizimlar real vaqt monitoringini tashkil etib, geotexnik xavflarni avtomatik prognozlash imkonini bermoqda.

O'zbekiston konchilik sanoatida esa hozirgi vaqtda asosan elektron taxeometrlar va GNSS tizimlari qo'llanilmoqda. Biroq InSAR, Digital Twin va AI asosidagi monitoring tizimlari hali to'liq joriy etilmagan.

Tadqiqot metodi. Tadqiqot davomida ochiq kon ishlarining deformatsion monitoringini amalga oshirish uchun zamonaviy geoma'lumotlar integratsiyasiga asoslangan kompleks monitoring modeli ishlab chiqildi.

- Tadqiqot obyektlari
  - Muruntov oltin koni;
  - Ko'kpatas oltin koni;
  - Qalmoqqir mis-molibden koni;
  - Angren ko'mir koni.
- Tadqiqot bosqichlari
  - Geodezik tayanch tarmoqlarini yaratish;

- GNSS monitoring tizimini tashkil etish;
- UUA aerofotos'yomka bajarish;
- LiDAR nuqtalar bulutini hosil qilish;
- GIS ma'lumotlar bazasini shakllantirish;
- 3D geologik model yaratish;
- AI asosida xavfni prognozlash.

Tadqiqot natijalaridan kelib chiqib GNSS monitoringida quyidagi uskunalari qo'llanilishi tavsiya etiladi: Leica GS18 I, Trimble R12i, Topcon HiPer VR, Emlid Reach RS3.

Doimiy GNSS stansiyalaridan olingan ma'lumotlar Trimble Business Center va Leica Infinity dasturlari yordamida qayta ishlanadi.

UUA va fotogrammetrik monitoring - dron monitoringi ochiq konlarning yuqori aniqlikdagi ortofotoplanlari va raqamli relyef modellarini yaratishda qo'llaniladi. Konlarda quyidagi dronlarni qo'llash tavsiya etiladi: DJI Matrice 350 RTK, WingtraOne GEN II, senseFly eBee X. Dron ma'lumotlari quyidagi dasturlarda qayta ishlanadi: Pix4Dmapper, Agisoft Metashape, DJI Terra.

LiDAR lazerli skanerlash - LiDAR texnologiyasi bortlarning millimetr aniqlikdagi deformatsiyalarini aniqlash imkonini beradi. LiDAR monitoringi yordamida: nuqtalar buluti, deformatsion model, 3D bort modeli yaratiladi.

InSAR radar interferometriyasi - Radar interferometriyasi deformatsiyalarni masofadan turib millimetr aniqlikda kuzatish imkonini beradi. Sentinel-1 ma'lumotlari SNAP va SARscape dasturlarida qayta ishlanadi.

GIS va Digital Twin texnologiyalari - Geoaxborot tizimlari asosida quyidagilar integratsiyalandi: geologik qatlamlar, gidrogeologik ma'lumotlar, deformatsion kuzatuvlar, texnologik obyektlar. Digital Twin texnologiyasi yordamida konning virtual modeli yaratiladi. Qo'llash mumkin bo'lgan dasturlar: ArcGIS Pro, Bentley OpenMining, Surpac, Datamine, Leapfrog Geo, Micromine.

Sun'iy intellekt asosidagi geotexnik prognozlash - Machine Learning algoritmlari yordamida bort surilishi ehtimoli prognoz qilinadi. AI algoritmlari quyidagi parametrlarni tahlil qiladi: nishablik burchagi, jins mustahkamligi, suv bosimi, deformatsiya tezligi, portlatish amplitudasi.

Muhokama va natijalar. Tadqiqot natijalari zamonaviy monitoring tizimlari sanoat xavfsizligini sezilarli oshirishini ko'rsatdi.

GNSS monitoring natijalari quyidagicha: koordinata aniqligi  $\pm 1$  sm gacha, kuzatuv tezligi 40 % ga ortadi, real vaqt monitoring imkoniyati yaratiladi.

UUA monitoring natijalari: 2-3 sm aniqlikdagi ortofotoplanlar yaratiladi, xavfli hududlarda inson ishtiroki kamaydi, deformatsiyalar operativ aniqlandi.

LiDAR natijalari: millimetr aniqlikdagi 3D model yaratiladi, bortlarning mikro siljishlari aniqlanadi, geotexnik monitoring sifati oshadi.

InSAR monitoring natijalari: uzoq muddatli siljishlar aniqlanadi, yashirin deformatsion zonalar topiladi, xavfli uchastkalar prognoz qilinadi.

AI monitoring natijalari: Sun'iy intellekt algoritmlari yordamida - surilish xavfi erta aniqlanadi, xavf zonalarini avtomatik klassifikatsiya qilinadi, favqulodda vaziyat ehtimoli kamaytiriladi.

Xulosa. Tadqiqot natijalariga ko'ra quyidagi xulosalarga kelindi: GNSS, LiDAR, UUA va InSAR texnologiyalarini kompleks integratsiyalash sanoat xavfsizligini sezilarli oshiradi. Digital Twin va GIS platformalari real vaqt monitoringini tashkil etish imkonini beradi. Sun'iy intellekt asosidagi prognozlash tizimlari geotexnik xavflarni erta aniqlashda yuqori samaradorlikka ega. Zamonaviy monitoring tizimlari inson omilini kamaytirib, xavfli hududlarda masofaviy nazoratni ta'minlaydi. O'zbekiston konchilik sanoatida Smart Mining texnologiyalarini joriy etish sanoat xavfsizligini yangi bosqichga olib chiqadi.

Kelgusida quyidagi texnologiyalarni joriy etish maqsadga muvofiq hisoblanadi:

- IoT sensor tarmoqlari;
- 5G monitoring tizimlari;
- Avtonom dron monitoringi;
- AI asosidagi real vaqt prognozlash;
- Bulutli geoma'lumot platformalari.

#### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Vasyanovich Yu.A., Usoltseva L.A., Murzin V.A. GNSS technologies in opencast mining. – Moscow, 2012.
2. Antonovich K.M. Satellite Geodesy and Navigation Systems. – Moscow, 2006.
3. Kashkin V.B. Remote Sensing Technologies. – Moscow, 2001.
4. Lurye I.K. GIS and Remote Monitoring Systems. – Moscow, 2003.
5. Hanssen R. Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. – Springer, 2001.
6. Pix4Dmapper Technical Documentation, 2024.
7. ArcGIS Pro Documentation, ESRI, 2025.
8. Bentley OpenMining Handbook, 2024.
9. Datamine Studio OP User Guide, 2025.
10. DJI Enterprise Drone Solutions for Mining Industry, 2025.
11. Hexagon MineProtect Technical Manual, 2024.
12. O'zbekiston Respublikasi sanoat xavfsizligi qoidalari va konchilik me'yorlari, 2025.