DOI: 10.65322/j.srd.04182026.08

RAQAMLI MARKSHEYDERLIK MA'LUMOTLARI ASOSIDA OCHIQ KONLARDA QAZIB OLISH JARAYONLARINING GEOMETRIK ANIQLIGI VA SAMARADORLIGINI BAHOLASH

Sayyidqosimov S.S., *t.f.d., professor,*
Dexkonova N.E., *tayanch doktorant,*
E-mail: nargizerkinova2810@gmail.com,
Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti

Annotatsiya. *Ushbu maqolada ochiq konlarda raqamli marksheyderlik ma'lumotlari asosida qazib olish jarayonlarining geometrik aniqligi, hajmiy hisoblash ishonchliligi va o'lchash samaradorligini kompleks baholash metodikasi taklif etiladi. Metodik yondashuv global navigatsiya sun'iy yo'ldosh tizimi (GNSS) yordamida aniqlangan tayanch va mustaqil nazorat nuqtalarini, uchuvchisiz uchish apparati (UUA) fotogrammetriyasini hamda LiDAR (Light Detection and Ranging) texnologiyasi asosida olingan nuqtalar bulutini uch o'lchamli modellashtirish bilan integratsiyalashga asoslanadi. Turli davrlarda shakllantirilgan raqamli sirt modellarini yagona koordinata va balandlik tizimiga keltirish, ularni moslashtirish hamda sirtlar orasidagi farqni aniqlash ketma-ketligi ishlab chiqilgan. Geometrik aniqlik mustaqil nazorat nuqtalari bo'yicha o'rtacha kvadratik xato (RMSE) va o'rtacha absolyut xato (MAE) orqali, hajmiy hisoblash ishonchliligi esa nisbiy hajmiy tafovut orqali baholanadi. O'lchash samaradorligini miqdoriy aniqlashda dala o'lchovlari va ma'lumotlarni qayta ishlashga sarflangan vaqtni hisobga olish taklif etiladi. Mazkur yondashuv ochiq konlarda qazib olish hajmlarini davriy nazorat qilish, karyerning uch o'lchamli raqamli modelini yangilash va kon ishlarining geometrik holatini monitoring qilish imkonini beradi.*

Аннотация. *В настоящей статье предлагается методика комплексной оценки геометрической точности, достоверности объёмных расчётов и эффективности измерений процессов добычи в открытых горных работах на основе цифровых маркшейдерских данных. Методический подход основан на интеграции опорных и независимых контрольных точек, определённых с использованием глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS), фотограмметрических данных, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), и данных облака точек, полученных с использованием технологии LiDAR (Light Detection and Ranging), с последующим созданием трёхмерной модели. Разработана последовательность приведения цифровых моделей поверхности, сформированных в различные периоды времени, к единой системе координат и высот, их совмещения и определения различий между поверхностями. Геометрическая точность оценивается по среднеквадратической ошибке (RMSE) и средней абсолютной ошибке (MAE), рассчитанным по независимым контрольным точкам, тогда как достоверность объёмных расчётов определяется посредством относительного объёмного расхождения. Для количественной оценки эффективности измерений предлагается учитывать затраты времени на выполнение полевых измерений и последующую обработку полученных данных. Предлагаемый подход позволяет осуществлять периодический контроль объёмов добычи в открытых горных работах, обновлять трёхмерную цифровую модель карьера и проводить мониторинг геометрического состояния горных работ.*

Abstract. *This paper proposes a methodology for the comprehensive assessment of geometric accuracy, the reliability of volumetric calculations, and the efficiency of mining measurements in open-pit mines based on digital mine surveying data. The methodological approach is based on the integration of reference and independent check points determined using the Global Navigation Satellite System (GNSS), photogrammetric data acquired by unmanned*

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.08

aerial vehicles (UAVs), and point-cloud data obtained using Light Detection and Ranging (LiDAR) technology, followed by three-dimensional modeling. A procedure has been developed for transforming digital surface models generated at different time periods into a common coordinate and elevation reference system, aligning them, and determining the differences between the surfaces. Geometric accuracy is assessed using the root mean square error (RMSE) and mean absolute error (MAE) calculated from independent check points, while the reliability of volumetric calculations is evaluated using the relative volumetric discrepancy. For the quantitative assessment of measurement efficiency, it is proposed to take into account the time required for field measurements and subsequent data processing. The proposed approach enables periodic monitoring of mining volumes in open-pit mines, updating the three-dimensional digital model of the open pit, and monitoring the geometric condition of mining operations.

Kalit so‘zlar: *ochiq kon, marksheyderlik, raqamli sirt modeli, GNSS, UUA, LiDAR, uch o‘lchamli modellashtirish, RMSE, MAE, hajmiy hisoblash, monitoring.*

Ключевые слова: *открытые горные работы, маркшейдерия, цифровая модель поверхности, GNSS, БПЛА, LiDAR, трёхмерное моделирование, RMSE, MAE, объёмные расчёты, мониторинг.*

Keywords: *open-pit mining, mine surveying, digital surface model, GNSS, UAV, LiDAR, three-dimensional modeling, RMSE, MAE, volumetric calculations, monitoring.*

Kirish. Ochiq konlarda qazish fronti, pog‘onalar, bermalar va boshqa kon-geometrik elementlarning vaqt davomida o‘zgarib borishi ularning fazoviy holatini muntazam ravishda marksheyderlik nazoratidan o‘tkazishni talab qiladi. An’anaviy geodezik o‘lchash usullari bilan bir qatorda zamonaviy raqamli texnologiyalardan foydalanish katta maydonlarni qisqa vaqt ichida qamrab olish, fazoviy nuqtalar bulutini shakllantirish, raqamli sirt modelini yaratish va turli davrlardagi sirtlarni o‘zaro taqqoslash imkonini beradi.

Shu bilan birga, raqamli marksheyderlik modelining amaliy qiymati faqat ma’lumotlarni tez yig‘ish imkoniyati bilan belgilanmaydi. Olingan natijalarning ishonchliligi, avvalo, mustaqil geodezik nazorat orqali tasdiqlangan geometrik aniqlik, sirtlarni to‘g‘ri registratsiya qilish va hajmiy hisoblash natijalarining nazorat o‘lchovlari bilan muvofiqligi bilan baholanishi lozim.

Ilmiy adabiyotlarda uchuvchisiz uchish apparati (UUA) fotogrammetriyasi ochiq konlarda hajmiy hisoblash uchun global navigatsiya sun’iy yo‘ldosh tizimi (GNSS) asosidagi o‘lchashlarga nisbatan tezkor muqobil usul sifatida ko‘rib chiqilgan. Raeva va hammualliflar tomonidan olib borilgan tadqiqotda bir xil uyum hajmi UUA yordamida 12 749 m³, GNSS yordamida esa 12 606 m³ miqdorida aniqlangan bo‘lib, ular orasidagi farq 1,1 % ni tashkil etgan. Tadqiqotda butun karer hududini UUA yordamida tasvirga olish 30 daqiqadan kam vaqtni, GNSS asosidagi o‘lchashlar esa taxminan 5 soatni tashkil etgani qayd etilgan [1]. Mazkur natijalar UUA fotogrammetriyasining dala ma’lumotlarini yig‘ish bosqichidagi vaqt samaradorligini ko‘rsatadi. Biroq ushbu ko‘rsatkichlar mazkur tezis muallifining shaxsiy dala tajribasi natijalari emas, balki adabiyotda keltirilgan tadqiqot natijalari sifatida qaraladi.

Tadqiqot maqsadi va metodikasi. Tadqiqotning maqsadi – raqamli marksheyderlik ma’lumotlari asosida ochiq konlarda qazib olish jarayonlarining geometrik aniqligi, hajmiy hisoblash ishonchliligi va o‘lchash samaradorligini yagona metodik tizim asosida baholashdan iborat.

Tadqiqot obyekti sifatida Qalmoqqir ochiq koni sharoitida marksheyderlik monitoringini tashkil etish va raqamli ma’lumotlar asosida kon hududining geometrik holatini baholash masalasi ko‘rib chiqiladi.

Taklif etilayotgan metodik ketma-ketlik quyidagi bosqichlarni o‘z ichiga oladi:

1. GNSS yordamida tayanch va mustaqil nazorat nuqtalarini belgilash;

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.08

2. UUA fotogrammetriyasi va LiDAR texnologiyasi yordamida fazoviy ma’lumotlarni yig‘ish;
3. olingan nuqtalar bulutini qayta ishlash va raqamli sirt modelini shakllantirish;
4. barcha ma’lumotlarni yagona koordinata va balandlik tizimiga keltirish;
5. raqamli sirtlarni o‘zaro moslashtirish va registratsiya xatolarini nazorat qilish;
6. turli davrlarga tegishli raqamli sirtlarning farqini aniqlash orqali qazib olingan yoki to‘ldirilgan jinslar hajmini hisoblash;
7. olingan natijalarni mustaqil nazorat o‘lchovlari bilan solishtirish;
8. geometrik aniqlik, hajmiy tafovut va vaqt samaradorligini kompleks baholash.

Mazkur ketma-ketlikning asosiy xususiyati shundaki, geometrik aniqlik, hajmiy hisoblash va vaqt samaradorligi o‘zaro bog‘liq ko‘rsatkichlar sifatida baholanadi.

Aniqlik va samaradorlikni miqdoriy baholash. Mustaqil nazorat nuqtalarida raqamli model bo‘yicha aniqlangan balandlik qiymati bilan nazorat o‘lchovi natijasi orasidagi farq quyidagicha aniqlanadi:

$$e_i = Z_i - Z_i(ref),$$

bu yerda Z_i – raqamli model bo‘yicha aniqlangan balandlik; $Z_i(ref)$ – mustaqil nazorat o‘lchovi orqali aniqlangan etalon balandlik qiymati.

Geometrik aniqlikni baholash uchun o‘rtacha kvadratik xato quyidagicha hisoblanadi:

$$RMSEz = \sqrt{\left[\left(\frac{1}{n}\right)\sum e_i^2\right]}.$$

O‘rtacha absolyut xato esa:

$$MAE = \left(\frac{1}{n}\right)\sum|e_i|,$$

ko‘rinishida aniqlanadi.

Bu yerda n – nazorat nuqtalarining umumiy soni.

Hajmiy hisoblash natijasining nazorat qiymatiga nisbatan tafovuti quyidagi ifoda orqali baholanadi:

$$\delta V = \frac{|V_d - V_r|}{V_r} * 100\%,$$

bu yerda V_d – raqamli sirt modeli asosida aniqlangan hajm; V_r – nazorat usuli asosida aniqlangan hajm.

O‘lchashning vaqt samaradorligini quyidagi ko‘rsatkich orqali ifodalash mumkin:

$$\eta_t = \frac{T_r - T_d}{T_r} * 100\%,$$

bu yerda T_r – taqqoslash uchun qabul qilingan an’anaviy yoki nazorat usuliga sarflangan vaqt; T_d – raqamli usulda ma’lumotlarni yig‘ish va qayta ishlashga sarflangan vaqt.

Mazkur ko‘rsatkichlarni alohida emas, balki kompleks ravishda qo‘llash muhim hisoblanadi. Chunki kichik RMSE qiymatining o‘zi yuqori iqtisodiy yoki texnologik samaradorlikni anglatmaydi. Xuddi shuningdek, tezkor ma’lumot yig‘ish jarayoni mustaqil geodezik nazorat bilan tasdiqlanmagan bo‘lsa, uning natijalaridan marksheyderlik hisoblarida foydalanishning ishonchliligi yetarli darajada asoslanmagan bo‘lishi mumkin.

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.08

Shu sababli taklif etilayotgan metodikada aniqlik, hajmiy ishonchlilik va vaqt samaradorligini birgalikda baholash tamoyili asosiy mezon sifatida qabul qilinadi.

Qalmoqqir ochiq koni sharoitida qo‘llash va natijalar muhokamasi. Qalmoqqir ochiq konida olib borilgan GNSS asosidagi deformatsion monitoringga oid tadqiqotlarda 2024–2025-yillar davomida to‘rtta statik o‘lchash sikli va yettita GNSS stansiyasidan foydalanilgani qayd etilgan. Mazkur tadqiqot natijalariga ko‘ra, faol zonalarda aniqlangan siljishlar gorizontal yo‘nalishda 68 mm gacha, vertikal yo‘nalishda esa 31 mm gacha yetgani ko‘rsatilgan [2].

Ushbu natijalar ochiq konlarda geodezik va marksheyderlik monitoringining vazifasi faqat qazib olingan jinslar hajmini aniqlash bilan cheklanmasligini ko‘rsatadi. Bunday monitoring karyer bortlari, pog‘onalar, qiyaliklar va potensial xavfli zonalarning fazoviy holatini baholash hamda ularning vaqt davomida o‘zgarishini aniqlash uchun ham muhimdir.

UUA fotogrammetriyasidan foydalanishga bag‘ishlangan zamonaviy tadqiqotlarda mustaqil nazorat nuqtalaridan foydalanish raqamli fotogrammetrik modellarning aniqligini obyektiv baholashning muhim sharti sifatida ko‘rsatilgan. Ochiq marmar karerlaridan birida 2024–2025-yillarda olib borilgan tadqiqotda fotogrammetrik modellar uchun o‘rtacha kvadratik xato 3,66–3,82 sm oralig‘ida, nuqtalar bulutini Iterative Closest Point (ICP) algoritmi yordamida moslashtirish xatosi esa 2,09 sm ni tashkil etgani qayd etilgan [3].

Mazkur natijalar davriy monitoring jarayonida ikki xil omilni ajratib ko‘rish zarurligini ko‘rsatadi: birinchidan, real qazib olish yoki to‘ldirish natijasida yuzaga kelgan geometrik o‘zgarishlar; ikkinchidan, o‘lchash, modellashtirish va sirtlarni registratsiya qilish jarayonlaridan kelib chiqadigan xatolar. Shu sababli davriy raqamli sirtlar orasidagi farqni bevosita qazib olish hajmining o‘zgarishi sifatida talqin qilishdan oldin ma’lumotlarning fazoviy mosligi va aniqlik ko‘rsatkichlarini baholash zarur.

Ilmiy yangilik va amaliy ahamiyati. Tadqiqotning asosiy ilmiy-uslubiy natijasi sifatida GNSS nazorati, UUA va/yoki LiDAR asosida olinadigan fazoviy ma’lumotlar, uch o‘lchamli raqamli sirtlarni davriy taqqoslash, RMSE va MAE asosida geometrik aniqlikni baholash, nisbiy hajmiy tafovutni aniqlash hamda vaqt samaradorligini baholashni yagona metodik ketma-ketlikka birlashtirish taklif etiladi.

Mazkur yondashuvning afzalligi shundaki, u faqat “qancha hajm qazib olindi?” degan savolga emas, balki “ushbu hajm qanchalik aniq va qanday vaqt sarfi bilan aniqlandi?” degan savollarga ham javob olish imkonini beradi.

Metodikaning amaliy ahamiyati ochiq konlarda qazib olish hajmlarini davriy hisoblash, karyerning uch o‘lchamli raqamli modelini yangilash, qazish frontlarining fazoviy holatini monitoring qilish, loyiha va amaldagi geometrik holatni taqqoslash hamda xodimlarning xavfli zonalarda bevosita ishlash zaruratini kamaytirishda namoyon bo‘ladi.

Bundan tashqari, raqamli ma’lumotlarni muntazam yig‘ish va qayta ishlash kon ishlarining geometrik holati to‘g‘risidagi ma’lumotlarni yagona raqamli muhitda saqlash, turli davrlardagi o‘zgarishlarni tahlil qilish va marksheyderlik qarorlarini ma’lumotlarga asoslangan holda qabul qilish imkoniyatini kengaytiradi.

Xulosa. Raqamli marksheyderlik ma’lumotlarini GNSS nazorati, UUA fotogrammetriyasi, LiDAR texnologiyasi va uch o‘lchamli modellashtirish bilan integratsiyalash ochiq konlarda geometrik o‘zgarishlarni tezkor aniqlash, qazib olish hajmlarini nazorat qilish va marksheyderlik monitoringining ishonchliligini oshirish uchun samarali metodik asos yaratadi.

Mustaqil nazorat nuqtalari asosida aniqlanadigan RMSE va MAE ko‘rsatkichlari geometrik aniqlikni, nisbiy hajmiy tafovut hajmiy hisoblashning ishonchliligini, vaqt ko‘rsatkichi esa o‘lchash jarayonining samaradorligini tavsiflaydi. Ushbu ko‘rsatkichlarni kompleks qo‘llash raqamli marksheyderlik texnologiyalarining amaliy samaradorligini yanada obyektiv baholash imkonini beradi.

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.08

Adabiyotlarda keltirilgan tajriba natijalari UUA fotogrammetriyasining dala ma'lumotlarini yig'ish bosqichida vaqt jihatidan ustunligini ko'rsatadi. Qalmoqqir ochiq koni bo'yicha GNSS asosidagi monitoring natijalari esa geodezik nazoratning karyer hududidagi geometrik o'zgarishlar va deformatsiyalarni aniqlashdagi amaliy ahamiyatini ko'rsatadi. Boshqa ochiq konlarda olib borilgan fotogrammetrik tadqiqotlar esa mustaqil nazorat nuqtalari va sirtlarni aniq registratsiya qilish raqamli monitoring natijalarining ishonchliligini ta'minlashda muhim ekanini tasdiqlaydi.

Shu bilan birga, mazkur tezisda keltirilgan Qalmoqqir ochiq koni bo'yicha sonli ma'lumotlar hamda boshqa miqdoriy ko'rsatkichlar tegishli ilmiy manbalardan olingan ma'lumotlarga asoslangan bo'lib, ular muallifning bevosita shaxsiy dala o'lchovlari yoki eksperimental natijalari sifatida talqin qilinmasligi lozim.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Raeva P.L., Filipova S.L., Filipov D.G. Volume Computation of a Stockpile – A Study Case Comparing GPS and UAV Measurements in an Open Pit Quarry. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B1, 999–1004, 2016. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLI-B1-999-2016.
2. Kazakov A.N., Fazilova D.H., Khamitov N.A. Monitoring Slope Displacements at the Kalmakyr Open-Pit Mine Using GNSS and GAMIT/GLOBK Processing. Technical Science and Innovation, 2025, No. 3. DOI: 10.59048/2181-1180.1737.
3. Surface Change and Stability Analysis in Open-Pit Mines Using UAV Photogrammetric Data and Geospatial Analysis. Drones, 2025, 9(7), 472. DOI: 10.3390/drones9070472.