

MARKSHEYDERLIK TA'MINOTIDA INNOVATSION YONDASHUV: KON LAHIMLARINI RAQAMLI MODELLASHTIRISHDA SMARTFONLARDAN FOYDALANISH

Qurbonov Hasan Alisherovich

*Toshkent davlat texnika universiteti "Marksheyderlik ishi va geodeziya" kafedrası tayanch doktoranti. ORCID: 0009-0004-2077-0798,
e-mail: kimqx92@gmail.com.*

Sayyidqosimov Sayyidjabbor Sayyidqosim o'g'li

*Toshkent davlat texnika universiteti "Marksheyderlik ishi va geodeziya" kafedrası professori (DSc). ORCID: 0000-0002-5954-2790,
e-mail sayyidjabbor@yandex.com*

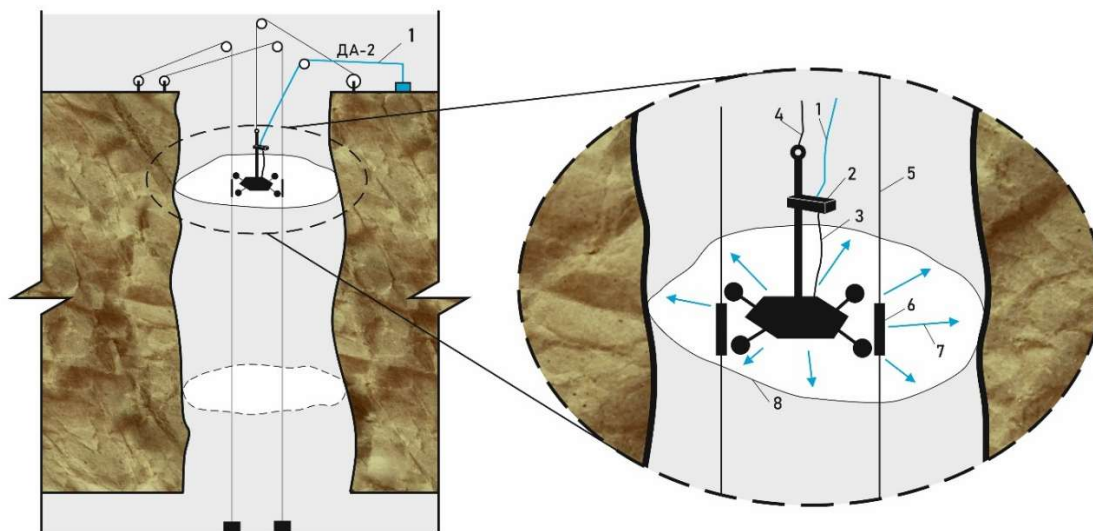
Annotatsiya. Maqolada yer osti kon lahimlarining raqamli modelini yaratishga alohida e'tibor qaratgan holda, marksheyderlik o'lchov ishlarida fotogrammetrik usullardan foydalanish masalalari ko'rib chiqilgan. Zamonaviy raqamli fotogrammetriya yutuqlari, xususan mobil qurilmalar hamda Agisoft Metashape kabi maxsus dasturiy ta'minotlarini qo'llash orqali murakkab fazoviy obyektlarning aniq uch o'lchamli modellarini qimmatbaho uskunalarsiz olish mumkinligiga e'tibor qaratilgan. Tadqiqotda yorug'lik past sharoitlarda tasvirga olishni tashkillashtirish va smartfon kalibrovka koeffitsientlari orqali natijalarning aniqligini oshirish masalalariga alohida e'tibor qaratilgan. Nazorat nuqtalari asosida o'tkazilgan tahlil kalibrovka koeffitsiyentlari qo'llanilgandan so'ng yuqori metrik aniqlikni ko'rsatdi, bu esa taklif etilgan metodikaning yer osti kon sharoitlarida marksheyderlik tahlil uchun samarali ekanligini tasdiqladi.

Kalit so'zlar: yer osti kon lahimlari, marksheyderlik ta'minoti, fotogrammetriya, 3D modellash, nuqtalar buluti, stereovizualizatsiya, relyefning raqamli modeli, Agisoft Metashape, kamera kalibrovkasi, fazoviy joylashuv, nazorat nuqtalari.

Kirish. Fotogrammetriya sohasidagi zamonaviy yutuqlar uning marksheyderlik o'lchov ishlarida qo'llanilish imkoniyatlarini sezilarli darajada oshirdi. O'lchov aniqligiga ega bo'lgan ma'lumotlarni fotosuratlar orqali olishga qaratilgan ilmiy yo'nalish sifatida fotogrammetriya hozirgi kunda tog'-kon sanoatida fazoviy tahlilning asosiy vositalaridan biri bo'lishiga imkon yaratadi. Uning qo'llanilishidagi asosiy yo'nalishlardan biri bu yer osti kon lahimlari – masalan, shtreklar, shtolnyalar, va yordamchi kon lahimlarining 374oorish374c parametrlarini o'lchashdan iborat. Ahamiyatli jihatlardan biri bu kon lahimi ko'ndalang qirqimlarini yaratishda obyekt mobil qurilma yordamida tasvirga olinadi. Olingan yakuniy uch o'lchamli model yordamida kon lahimi shakli va o'lchamlarini aniqlash, qazib olish hajmlarini hisoblash, loyihaviy yechimlarga muvofiqligini tekshirish va atrof tog' jinslarining barqarorligini baholashda muhim ahamiyatga ega.

Fotogrammetrik usullarni marksheyderlik xizmatlari amaliyotiga joriy etish olingan o'lchovlarning ishonchligini sezilarli darajada oshirish imkonini beradi. Bu esa, o'z navbatida, foydali qazilma yo'qotilishini kamaytirish, rudaning sifatsizlanishini cheklash va kon ishlarining hajmini yanada aniqroq nazorat qilish imkonini beradi. Bundan tashqari, fotogrammetrik usullar masofaviy suratga olish imkonini beradi, bu esa xavfli yoki 374oorish imkoniyati qiyin bo'lgan hududlarda ishlayotgan marksheyderlar uchun xavflarni kamaytiradi.

Fotogrammetriya prinsiplarini kon sharoitlarida amalga oshirgan dastlabki texnologiyalardan biri bu fotoplanimetrik usul bo'lib, u yer osti kon lahimlarining ko'ndalang kesim konturlarini tasvirga olish uchun mo'ljallangan. Uning mohiyati shundan iboratki, ko'ndalang kesimning yorqin yorug'lik proyeksiyasi qarama-qarshi devorga yoki ekranga tushiriladi, so'ngra hosil bo'lgan soyali tasvir (силует) fotosuratga olinadi. Proyeksiyani hosil qilish uchun yo'naltirilgan yorug'lik manbalari qo'llaniladi — bu chaqnovchi lampa yoki aylanuvchi proyektor bo'lishi mumkin [1]. Proyeksiya natijasida kon lahimining devorida aniq kontur shakllanadi va bu kontur belgilangan kuzatuv nuqtasidan fotoapparat yordamida tasvirga olinadi (1-rasm).



1-rasm. Kon lahimlarini fotoplanimetrik usul yordamida tasvirga olish sxemasi (chapda) va tasvirga olish moslamasining umumiy ko'rinishi (o'ngda). 1 — fotoapparatni masofadan boshqarish qurilmasi (DA-2)ga ulangan kabel; 2 — fotoapparat tugmasini masofadan boshqarish moslamasi; 3 — chaqnash lampasiga ulangan kabel; 4 — DA-2 uzunlik o'lchagichiga ulangan kabel; 5 — yo'naltiruvchi sim; 6 — yo'naltiruvchi foto-planimetr; 7 — chaqnashdan chiqqan yorug'lik; 8 — kon lahimining devorida hosil bo'lgan yorug'lik izi

Bugungi kunga kelib, mazkur yondashuvning tog'-kon sanoatidagi qo'llanishi hali ham cheklanganligicha qolmoqda. Bu esa, uning amaliy masalalarni hal etishda samaradorligini pasaytiruvchi bir qator texnik va metodik omillar bilan bog'liq:

- Aniqlik ko'rsatkichlarining beqarorligi. Olingan o'lchovlar turli omillar ta'siriga juda sezuvchan: uskuna o'rnatilishidagi tebranishlar, optik parametrlarning o'zgarishi, suratga olish geometriyasining barqaror emasligi natijasida yakuniy natijalarda sezilarli og'ishlar yuzaga kelishi mumkin.

- Olingan ma'lumotlarning cheklanganligi. Usul faqatgina ko'ndalang kesimning chiziqli profilini olish imkonini beradi, lekin obyektning fazoviy joylashuvi, hajmi yoki to'liq uch o'lchamli shakli haqida ma'lumot taqdim etmaydi.

- Yoritilish sharoitiga yuqori darajadagi bog'liqlik. Konturlarni aniqlik bilan shakllantirish uchun bir tekis va kuchli yorug'lik talab etiladi. Optimal yorug'lik sharoitidan chekinish holatlari tasvirning buzilishiga olib keladi.

- Yuzalarning vizual xususiyatlari yo'qligi. Zamonaviy fotogrammetrik tizimlardan farqli o'laroq, bu usul obyektlarning tekstura yoki rangga oid

xususiyatlarini saqlamaydi, bu esa tadqiqotchi uchun qo'shimcha tahliliy imkoniyatlardan mahrumlikni anglatadi.

– Masshtabni ta'minlashdagi muammolar. Metrik ma'lumotlar olish uchun suratda andoza obyektlar yoki asosiy belgilovchi elementlarning mavjudligi zarur. Ularning yo'qligi tasvirni miqdoriy tahlil uchun yaroqsiz holga keltiradi.

So'nggi o'n yilliklarda raqamli texnologiyalar va hisoblash tizimlarining jadal rivojlanishi natijasida fotogrammetrik suratga olish usullariga yondashuv tubdan qayta ko'rib chiqildi. An'anaviy usullar — ya'ni plyonkali fotokameralar va tasvirlarni qo'lda qayta ishlashga asoslangan yondashuvlar — asta-sekin raqamli texnologiyalar bilan siqib chiqarildi.

Zamonaviy fotokameralar yuqori sezgirlikka ega matritsalar bilan jihozlangan bo'lib, ular kon yo'llarining konturlarini aniq va detallangan holda tasvirga olishni ta'minlaydi. Bunda kimyoviy ishlov bosqichi butunlay yo'q qilinadi, bu esa tor va vaqt cheklangan yer osti sharoitida ayniqsa muhim afzallik hisoblanadi.

Tadqiqot metodologiyasi. Raqamli qurilmalardan foydalanish ko'ndalang qirqimlarni hujjatlashtirish tezligini bir necha barobarga oshirish imkonini berdi. Empirik kuzatuvlarga ko'ra, bitta kamera qisqa vaqt ichida bir nechta uchastkalarni tasvirga olishga qodir bo'lib, u ham ixcham yo'llar, ham yirik tog' inshootlarini qamrab oladi. Geometrik parametrlarni raqamli qayd qilishga o'tish marksheyderlik o'lchovlarining ishlab chiqarish samaradorligini sezilarli darajada oshirdi, bu esa kon yo'llari holatini muntazam monitoring qilish va loyiha me'yorlaridan og'ishlarni tezkor aniqlash imkonini yaratdi.

Yoritilishning salbiy ta'sirini kamaytirish maqsadida yoritish va suratga olish uchun maxsus qurilma (2-rasm) ishlab chiqildi, u mobil kamerani stabilizator bilan, mustaqil (avtonom) yoritish manbaini va shtativni o'z ichiga oladi.



2-rasm. Yorug'ligi past sharoitlarda suratga olish uchun mo'ljallangan qurilma konstruksiyasi

Tajriba ishlari Qashqadaryo viloyatidagi TP-2 tunnelida olib borildi. Suratga olish jarayoni kon lahimining ko'ndalang kesim tekisligida, markaziy o'qdan biroz

siljigan holatda amalga oshirildi. Suratga olish moduli (kamerali moslama) tonnelning bo'ylama o'qiga nisbatan perpendikulyar holatda joylashtirildi.

Obyektiv bilan obyektning eng yaqin nuqtasi orasidagi minimal ruxsat etilgan masofa optikaning fokus masofasi hamda suratga olinayotgan makonning geometrik xususiyatlari asosida belgilandi. Bu omillar, o'z navbatida, kesim konturlarini rekonstruksiya qilish aniqligiga bevosita ta'sir ko'rsatdi.

Fotogrammetrik suratga olish jarayonida Redmi Note 13 Pro mobil qurilmasidan foydalanildi, u 200 MP asosiy kamera bilan jihozlangan. Suratga olish ~24 mm ekvivalent fokus masofali, f/1.65 diafragmali va avtofokusli standart obyektiv yordamida amalga oshirildi.

Yorug'lik past sharoitlarda tasvir sifati oshirilishi uchun quyidagi suratga olish parametrlari tanlandi:

- ISO qiymati kon lahimi va tashqi yoritish darajasiga qarab 400–800 oralig'ida o'zgartirildi;
- Ekspozitsiya vaqti 1/30 dan 1/60 soniyagacha bo'lib, bu qo'l bilan suratga olishda harakatdan yuzaga keladigan xiralikni minimallashtirish imkonini berdi;
- Tasvirlar JPEG formatida yozib olinib, so'ngra fotogrammetrik dasturda ishlov berish uchun siqilmagan TIFF formatiga konvertatsiya qilindi.

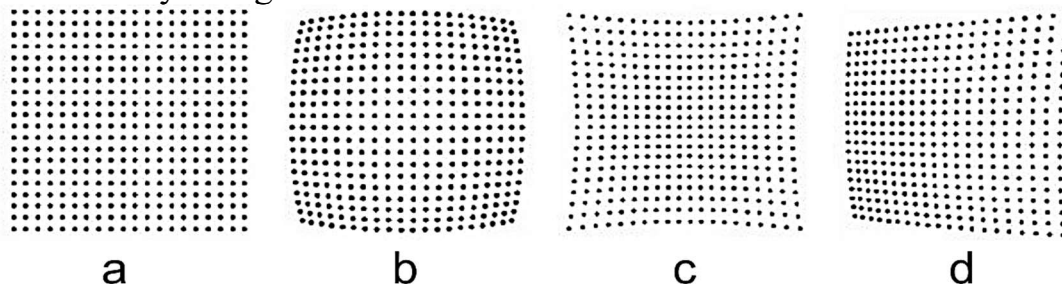
Tadqiqotni amalga oshirishdan oldin distorsiya koeffitsientlarini aniqlab olishni talab qilardi sabab, fotosuratga olish jarayonida kamera matritsasida hosil bo'ladigan tasvir muqarrar ravishda egrilanishga uchraydi Eng keng tarqalgan kamera modellariga ko'ra, distorsiyaning ikki asosiy turi mavjud:

1. *Radial distorsiya* oddiy konstruktsiyali optik tizimlarga xosdir. Ushbu egrilanish natijasida barcha to'g'ri chiziqlar egri shaklga ega bo'ladi, faqat optik o'q bilan bir tekislikda joylashgan chiziqlar bundan mustasno (3-rasm, a). O'z o'rnida radial distorsiya ham ikkiga bo'linadi:

- Bochkasimon distorsiya (3-rasm, b) – chiziqlar tashqariga egilib, tasvir markazdan kengayib ketadi.
- Yostiqlimon distorsiya (3-rasm, c) – chiziqlar ichkariga tortilib, tasvir markazga yo'naladi.

2. *Tangensial distorsiya* obyektiv linzalari optik o'qlarining mos kelmasligi va ularning matritsaga nisbatan og'ishganligi tufayli yuzaga keladi, bu esa tasvirning notekis siljishiga olib keladi (3-rasm, d).

Radial va tangensial distorsiya bir vaqtning o'zida tasvirga ta'sir qilib, uning geometrik xususiyatlariga ta'sir ko'rsatadi.



3-rasm. Distorsiya turlari. a - normal tasvir; b-bochkasimon; c-yostiqlimon; d-tangensial

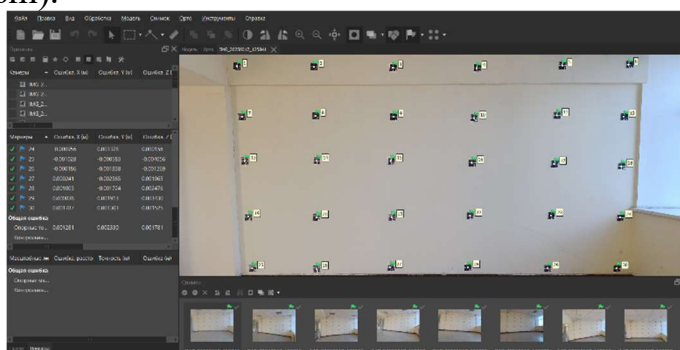
Ancha arzon bo'lgan Redmi Note 13 Pro smartfon kamerasi yordamida "Marksheyderlik ishi va geodeziya" kafedrasida distorsiya koeffitsientlarini aniqlash bo'yicha amaliy tajriba o'tkazildi va koeffitsientlarni aniqlash doirasida quyidagi asosiy jihatlarga e'tibor qaratildi:

- Kamera ichki parametrlarini aniqlash, jumladan, fokus masofasi, optik markaz koordinatalari va distorsiya koeffitsiyentlari (K_1 , K_2 , K_3 , P_1 , P_2) kalibrovkasi;
- Fotogrammetrik suratga olish aniqligini bog'lovchi nuqtalar va tayanch markerlarni baholash orqali tahlil qilish;

Suratga olish 9 ta turli nuqtadan amalga oshirilib. Kalibrovka aniqligini oshirish uchun jami 30 ta tayanch nuqta o'rnatildi va ularning (X, Y, Z) koordinatalari taxometr yordamida o'lchandi, bu esa xatoliklarni minimallashtirib, distorsiya parametrlarini aniqroq aniqlash imkonini berdi. (4-rasm).



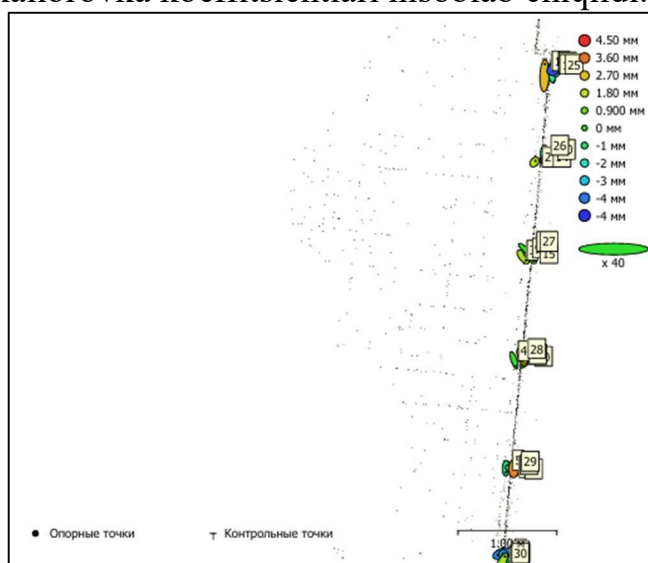
4-rasm. Suratga olish o'rni



5-rasm. Tayanch nuqtalarni dasturda suratdagi o'rni bo'yicha belgilash

Kalibrovka jarayoni Agisoft Metashape dasturiy ta'minoti yordamida 9 ta fotosuratni yuklash orqali amalga oshirilib, shundan so'ng bog'lovchi nuqtalar avtomatik ravishda aniqlandi (5-rasm). Kalibrovka jarayonida ichki yo'naltirish parametrlari tayanch nuqtalar ma'lumotlari asosida optimallashtirildi.

Qayta ishlovdan so'ng olingan modelning fazoviy xatoligi baholandi va kalibrovka koeffitsientlari hisoblab chiqildi.

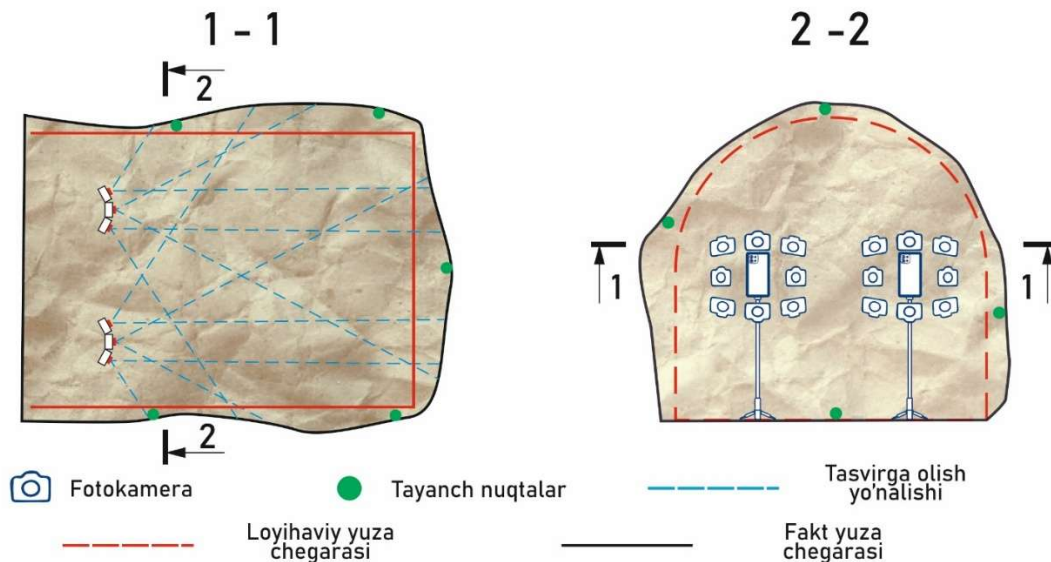


	Значение	Ошибка	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	11146.5	2.7	1.00	0.01	-0.12	-0.24	0.18	-0.14	0.05	-0.07
Cx	-150.073	8.3		1.00	-0.02	0.17	-0.21	0.24	0.95	-0.07
Cy	-125.612	7.4			1.00	-0.03	-0.00	0.01	-0.00	0.95
K1	0.0906001	0.00083				1.00	-0.94	0.87	0.17	-0.03
K2	-0.255637	0.0032					1.00	-0.98	-0.19	0.00
K3	0.244886	0.004						1.00	0.21	0.01
P1	-0.000587939	0.00018							1.00	-0.05
P2	-0.00263725	0.00017								1.00

6-rasm. Tayanch nuqtalarning joylashuvi va aniqlangan xatoliklarning bahosi balandlik bo'yicha xatolar ellips rangi bilan, plandagi xatolar esa ellips shakli bilan ifodalangan (chapda), (o'ngda) F – fokus masofa; Cx, Cy – optik markaz

koordinatalari ; K_1 , K_2 , K_3 – radial distorsiya ko'rsatkichlari; P_1 , P_2 – tangensial distorsiya ko'rsatkichlari;

Kalibrovka koeffitsientlari aniqlangach kon lahimida tasvirga olish ishlari amalga oshirildi. Kamera va yoritish moslamalarining reja sxemasi, ishlov berilayotgan kon uchastkasiga yo'naltirilgan holatda o'rnatilda (7-rasm).



7-rasm. Suratga olishning reja-sxemasi (chapda) va qirgimi (o'ngda).

Suratga olish metodologiyasi radial-konvergent sxemaga asoslangan bo'lib, ikki tasvir orasida kamida 60 % bo'ylama qamrov bilan ketma-ket suratga olinadi. Bundan tashqari, suratga olish oralig'ida kamida 25 % ko'ndalang qamrov ta'minlanadi, bu esa fazoviy orientirlash va birlashtirish algoritmlarining barqarorligini oshirishga xizmat qiladi.

Mazkur suratga olish sxemasi geodezik tayanch nuqtalar sonini sezilarli darajada qisqartirishga imkon beradi. An'anaviy fotogrammetriyada har bir surat uchun bir necha tayanch nuqta zarur bo'lsa, taklif etilayotgan usulda odatda har beshta surat uchun bitta tayanch nuqtaning mavjudligi yetarli bo'ladi. Bunday optimallashtirish yer osti sharoitlarida, ya'ni tor, murakkab yoki xavfli hududlarda dala ishlarining samaradorligini oshiradi va vaqt resurslarini tejaydi.



8-rasm. Smartfon yordamida tasvirga olishning yer osti kon lahimida amalga oshirilishi

Ma'lumotlarni qayta ishlash. Ushbu tadqiqot doirasida fotogrammetrik materiallarni qayta ishlash uchun Agisoft Metashape Professional dasturiy ta'minotidan foydalanildi. Mazkur dasturiy platforma uch o'lchamli fazoviy modellarni yaratish va keyinchalik ularni tahlil qilish uchun keng funksional imkoniyatlarga ega. Ushbu dastur tanlanishining asosiy sabablaridan yana biri bu uning erkin foydalanish uchun qulayligi va, shuningdek, har xil turdagi tasvirlar bilan ishlashdagi universalligi bo'ldi. Ya'ni, u nafaqat metrik kameralar bilan olingan suratlarni, balki oddiy raqamli (nometrik) qurilmalar yordamida olingan materiallarni ham samarali qayta ishlay oladi.

Bunday yondashuv turli fototexnika vositalari, jumladan, mobil kameralar bilan yuqori darajadagi moslikni ta'minlaydi, balki tor, cheklangan joylarda — xususan, yer osti kon lahimlarida suratga olishda amaliy jihatdan katta ahamiyatga ega [4].

Dasturiy ta'minotning muhim afzalliklaridan biri bu stereoskopik vizualizatsiyani amalga oshirish imkoniyatidir. Ushbu funksiya professional darajadagi maxsus stereomonitorlar, xususan 3D PluraView kabi qurilmalar yordamida amalga oshirildi (9-rasm). Stereorejimda vizualizatsiya fazoviy tuzilmani yanada aniqroq va batafsilroq talqin qilish imkonini beradi, ayniqsa yuqori zichlikdagi nuqtalar buluti bilan ishlashda bu juda muhim ahamiyat kasb etadi.

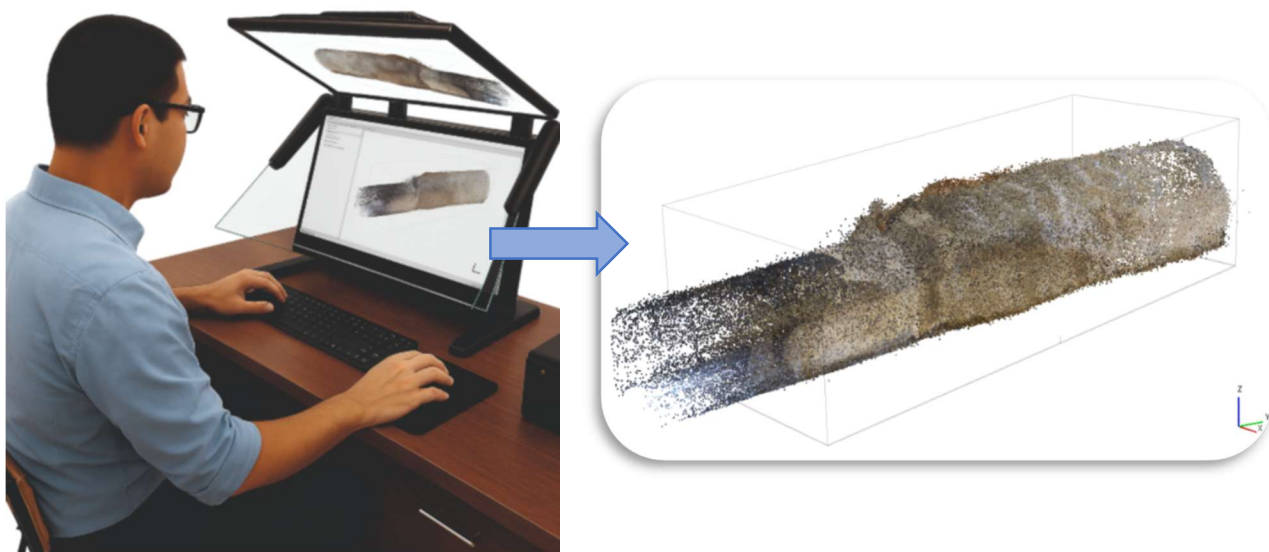
Quad-Buffered OpenGL texnologiyasidan foydalanish natijasida chap va o'ng ko'z uchun tasvirlar sinxron ravishda, minimal kechikish va miltillashsiz uzatiladi. Bu esa uch o'lchamli sahnaning chuqur va realistik qabul qilinishiga xizmat qiladi, ayniqsa murakkab obyektlarning professional vizualizatsiyasida juda muhim.

Hajmli modelni to'liq ko'ra olish uchun maxsus stereo ko'zoynaklardan foydalanish talab etiladi. Bu ko'zoynaklar markazda joylashgan oyna (ko'zgu) orqali operatorga yuqori darajada detallashtirilgan va aniq fazoviy shaklga ega 3D modelni ko'rish imkonini beradi.(10-rasm)



9-rasm. 3D PluraView Stereomonitori va maxsus ko'zoynak

Stereomonitorlardan foydalanish ayniqsa nuqtalar bulutini tahrirlash va fazoviy modellar geometriyasini nazorat qilishda samarali bo'ladi. Agar nuqtalar buluti juda zich bo'lsa yoki obyektning geometriyasi murakkab struktura bilan ajralib tursa, uni odatiy ikki o'lchamli rejimda tahlil qilish qiyinchilik tug'diradi, chunki elementlar bir-birini qoplaydi va tahrirlash davomida qiyinchilik keltirib chiqaradi. Stereoskopik vizualizatsiya esa model qatlamlarini fazoviy jihatdan ajratib ko'rish imkonini yaratadi, bu esa elementlarning koordinatalari va shakllarini aniqlashga yordam beradi. Natijada, interpretatsiya xatolari ehtimoli kamayadi va tahlil natijalari ishonchligi ortadi. Bu yondashuv, ayniqsa, yer osti kon lahimlarini modellashtirilishida dolzarb hisoblanadi, chunki geometrik aniqlik geodezik baholash va marksheyderlik qarorlarini qabul qilishda hal qiluvchi rol o'ynaydi [5].



10-rasm. Muallif Agisoft Metashape dasturiy ta'minotida yer osti kon lahimining fazoviy modelini qayta ishlash jarayonida professional 3D PluraView stereomonitori bilan ishlamoqda

Fotogrammetrik tasvirlarni qayta ishlash jarayonida fazoviy koordinatalarga ega bo'lgan va rang (RGB) haqida ma'lumotni o'z ichiga olgan rangli nuqta buluti shakllantiriladi, bu rang ma'lumotlari bevosita fotosuratlardan olinadi. Ushbu ma'lumotlar obyektning sirt modelini keyinchalik qurish uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

Keyingi bosqichda teksturalangan uch o'lchamli model yaratish amalga oshiriladi, bunda qurilgan polygonal to'r elementlariga asosiy fotosuratlardan olingan tekstura tasvirlari proyeksiya qilinadi. Bu obyektning faqat shaklini emas, balki sirtining vizual xususiyatlarini, jumladan ranglar va mayda tafsilotlarini ham aks ettirish imkonini beradi.

Yakunda, kon lahimining yuqori geometrik aniqlikka ega va sifatli teksturali vizualizatsiya bilan ta'minlangan informativ 3D-model shakllanadi, u fazoviy tahlil masalalarida, kon lahimlari holatini vizual monitoring qilishda, shuningdek, muhandislik va marksheyderlik ta'minotida qo'llaimkoniyatini yaratadi. (11-rasm).



11-rasm. Yer osti kon lahimining yakuniy fazoviy model (oldi tomondan ko‘rinishi)

Natijalar va tahlil. Uch o‘lchamli model koordinatalar tizimiga keltirilgandan so‘ng, rekonstruksiya aniqligining geometrik tahlili bajarildi. Fazoviy moslikni tekshirish uchun nazorat tayanch nuqtalari qo‘llanilib, ularning koordinatalari fotogrammetrik suratga olish amalga oshirilishidan oldin yuqori aniqlikdagi taxeometrлар yordamida oldindan aniqlangan edi.

Mazkur nuqtalar orasidagi masofalarni raqamli modelda hisoblash va ularni haqiqiy qiymatlar bilan taqqoslash yakuniy modelning metrik aniqlik darajasini baholashga imkon berdi (12-rasm).

Dastlabki tahlil shuni ko‘rsatdiki, nazorat nuqtalari koordinatalarining o‘rtacha kvadratik xatoliklari quyidagicha :

X-o‘qi bo‘yicha — 52,5 mm;

Y-o‘qi bo‘yicha — 67,2 mm;

Z-o‘qi bo‘yicha — 10,5 mm.

Ushbu qiymatlar aniqlikni dastlabki baholash uchun maqbul bo‘lsa-da, uni oshirish maqsadida kamera parametrlari qo‘shimcha ravishda tuzatildi, bu esa ilgari aniqlangan ichki kalibrovka koeffitsiyentlari asosida amalga oshirildi. [3]

Ushbu jarayon qo‘llanilgan mobil qurulma kamerasing optik xususiyatlari bilan bog‘liq bo‘lgan xatoliklarni kompensatsiya qilishga imkon berdi.

Kalibrovka koeffitsientlaridan so‘ng xatoliklarning sezilarli kamayishi kuzatildi:

X-o‘qi bo‘yicha — 11,3 mm;

Y-o‘qi bo‘yicha — 10,2 mm;

Z-o‘qi bo‘yicha — 5,6 mm.

Olingan natijalar ilgari aniqlangan kalibrovkalash koeffitsiyentlarining samaradorligini tasdiqlaydi va hosil qilingan modelning yuqori metrik aniqlik darajasiga ega ekanligini ko‘rsatadi, bu esa uni keyingi muhandislik va marksheyderlik tahlillari uchun yaroqli qiladi.



12-rasm. Modelning fazoviy mosligini tayanch nuqtalar bo'yicha tekshirish

Xulosa. O'tkazilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalarni chiqarish mumkin:

1. O'rganish jarayonida yer osti kon lahimlarining raqamli modellarini yaratishda fotogrammetrik usullarning yuqori samaradorligi tasdiqlandi. Smartfonlar kabi mavjud mobil qurilmalardan foydalanish cheklangan yorug'lik va tor hududda ham bu yondashuvning amaliy foydaliligini ko'rsatdi.

2. Radial-konvergent sxema asosida suratga olish metodikasi, qamrov parametrlari (bo'ylama va ko'ndalang)ga rioya qilgan holda, kam sonli tayanch nuqtalar bilan barqaror fazoviy rekonstruksiyanı ta'minlaydi.

3. Agisoft Metashape Professional dasturiy ta'minotidan foydalanish orqali yuqori zichlikdagi nuqtalar buluti hamda teksturalangan uch o'lchamli modellar olindi, ular muhandislik-geodeziya tahlili va murakkab fazoviy obyektlarni vizualizatsiya qilish uchun yaroqli bo'lib chiqdi.

4. 3D PluraView stereomonitoridan foydalanish modelni tahlil qilish va tahrirlash aniqligini sezilarli darajada oshirdi, ayniqsa bu yuqori zichlik va murakkab geometriyaga ega bo'lgan hududlarda bilan ishlashda yaqqol ko'zga tashlandi. Stereovizualizatsiya qo'lda taxrirlash va geometrik parametrlarni nazorat qilish bosqichlarida o'z samaradorligini namoyon etdi.

5. Nazorat tayanch nuqtalari bo'yicha o'tkazilgan aniqlik tahlili shuni ko'rsatdiki, kamera kalibrovkalari koeffitsientlari qo'llanilganga qadar o'rtacha kvadratik xatolik ayrim koordinatalar bo'yicha 67,2 mm gacha yetgan. Kalibrovka parametrlarining kiritilishi xatolikni rejada 12 mm dan, balandlik bo'yicha esa 6 mm dan kam darajaga tushirishga olib keldi, bu esa marksheyderlik o'lchovlari talablariga to'liq mos keladi.

6. Tadqiqot natijalari fotogrammetrik texnologiyalarni yer osti kon obyektlarining holatini tezkor monitoring qilish uchun ishonchli vosita sifatida qo'llash maqsadga muvofiqligini tasdiqladi.

Olingan natijalar mobil fotogrammetriyani amaldagi marksheyderlik ishlariga integratsiya qilish istiqbollari ochib beradi, ayniqsa kon lahimlarining holatini muntazam monitoring qilish zarur bo'lgan holatlarda, yoki an'anaviy asbob-uskunalarini qo'llash qiyin yoki xavfli bo'lgan sharoitlarda.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yhati:

1. Волуевич Н.М. Фотопланиметрическая съемка горных выработок // Записки Горного института. – 2004. – Т. 159, ч. 1. – С. 77–79.

2. Sayyidqosimov S.S., Qurbonov H.A. Integration of mobile photogrammetric systems and mathematical methods in monitoring the condition of underground mining workings // Mining Machines and Technology. – 2025. – Т. 1, № 11. – С. 47–52. – DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15239473>.

3. Qurbonov H.A. Yer osti kon lahimlarining raqamli modellarini fotogrammetrik usulda yaratishda mobil kameralar uchun me'yoriy ko'rsatkichlarni ishlab chiqish // "Geologiya fanlari, innovatsion rivojlanish va mutaxassislar tayyorlashning dolzarb muammolari va istiqbollari": xalqaro ilmiy anjuman materiallari. – Toshkent: Toshkent davlat texnika universiteti, 2025. – 1-qism. – B. 660–664.

4. Agisoft Metashape: руководство пользователя [Электронный ресурс]. – Москва: Agisoft LLC, 2022. – 99 с. – Режим доступа: https://www.agisoft.com/pdf/metashape_1_8_ru.pdf.

5. Смолич С.В., Смолич К.С., Просекин Б.А. Современное маркшейдерское искусство: учебное пособие. – Чита: Забайкальский государственный университет, 2018. – С. 68–70. – ISBN 978-5-9293-2208-2.

6. Митрофанов А.В., Филатов В.В. Цифровая фотограмметрия. – Екатеринбург: УрФУ, 2019.

7. Torkan M., Janiszewski M., Uotinen L., Rinne M. Method to obtain 3D point clouds of tunnels using smartphone LiDAR and comparison to photogrammetry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2023. – Vol. 1124, № 1. – 012016. – DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1124/1/012016>.

8. Бойко Е.В., Андреев И.С. Современные методы автоматизированной маркшейдерии // Горное дело. – 2022. – № 7. – С. 33–42.

9. Bishop R. Applications of Close-Range Terrestrial 3D Photogrammetry to Improve Safety in Underground Stone Mines [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/98920?show=full> (дата обращения: 05.06.2025).