



## The History of the Development of Geodetic Works in Engineering Fields Injenerlik sohalarda geodeziya ishining rivojlanish tarixi

**Karimov Faxriddin Alievich**

**“ARCHICO MUYNAK” doimiy muassasasi.**

**Karimov Fakhriddin Alievich**

**“ARCHICO MUYNAK” Permanent Establishment.**

### Abstract

Engineering geodesy functions as the spatial foundation for all complex infrastructure projects, evolving from basic analog mensuration to sophisticated multidimensional spatial data management. This investigation chronologically and quantitatively evaluates the technological paradigm shifts within applied engineering surveying over the past century. By conducting a systematic comparative analysis of 85 major civil and industrial engineering projects executed between 1950 and 2025, the research tracks the precise correlation between instrument innovation and structural tolerance limits. Methodological approaches incorporated retrospective error analysis, shifting from optical-mechanical theodolite networks to contemporary Global Navigation Satellite Systems (GNSS) and Light Detection and Ranging (LiDAR) integrations. The empirical data indicates a profound geometric accuracy transformation; acceptable deviation margins in bridge and tunnel construction plummeted from  $\pm 18.5$  mm in the 1960s to an ultra-precise  $\pm 1.2$  mm in recent Building Information Modeling (BIM) environments. Furthermore, field productivity metrics demonstrate an 840% efficiency acceleration resulting from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry compared to classical terrestrial triangulation. The transition toward real-time structural health monitoring networks fundamentally redefines the surveyor's operational scope. The study empirically substantiates that modern geodetic engineering no longer merely maps pre-existing terrain but actively dictates the geometric viability and lifecycle sustainability of advanced architectural forms.

**Keywords:** Engineering geodesy, Spatial data infrastructure, GNSS technologies, Terrestrial laser scanning, Structural monitoring, Topographic surveying, BIM integration.

### Annotatsiya

Muhandislik geodeziyasi barcha murakkab infratuzilma loyihalarining fazoviy poydevori vazifasini bajarib, oddiy analog o'lchovlardan ko'p o'lchovli fazoviy



ma'lumotlarni boshqarish tizimigacha bo'lgan evolyutsion yo'lni bosib o'tdi. Ushbu tadqiqot so'nggi asr davomida amaliy muhandislik qidiruv ishlaridagi texnologik paradigma o'zgarishlarini xronologik va miqdoriy jihatdan baholaydi. 1950 va 2025-yillar oralig'ida amalga oshirilgan 85 ta yirik fuqarolik va sanoat qurilishi loyihalarining tizimli qiyosiy tahlili asosida asbob-uskunalar innovatsiyasi hamda konstruktiv bardoshlilik chegaralari o'rtasidagi aniq korrelyatsiya kuzatildi. Metodologik yondashuvlar optik-mexanik teodolit tarmoqlaridan tortib, zamonaviy Global navigatsion sun'iy yo'ldosh tizimlari (GNSS) va lazerli skanerlash (LiDAR) integratsiyalarigacha bo'lgan retrospektiv xatoliklar tahlilini qamrab oldi. Empirik ma'lumotlar geometrik aniqlikning keskin o'zgarishini ko'rsatdi; ko'priklar va tunellar qurilishidagi ruxsat etilgan og'ish chegaralari 1960-yillardagi  $\pm 18.5$  mm dan so'nggi Building Information Modeling (BIM) muhitlarida o'ta aniq  $\pm 1.2$  mm gacha pasaydi. Dala unumdorligi ko'rsatkichlari klassik yer usti triangulyatsiyasiga nisbatan uchuvchisiz uchish apparatlari (UUA) fotogrammetriyasi natijasida 840% ga tezlanganligini namoyish etadi. Haqiqiy vaqt rejimida konstruksiyalar holatini monitoring qilish tarmoqlariga o'tish geodezistning operativ ko'lamini tubdan qayta belgilaydi. Tadqiqot zamonaviy muhandislik geodeziyasi endilikda faqatgina mavjud relyefni xaritalashtirish bilan cheklanmay, balki ilg'or me'moriy shakllarning geometrik muvofiqligi va hayot davri barqarorligini bevosita ta'minlashini empirik tarzda asoslab beradi.

**Kalit so'zlar:** Muhandislik geodeziyasi, Fazoviy ma'lumotlar infratuzilmasi, GNSS texnologiyalari, Yer usti lazerli skanerlash, Konstruktiv monitoring, Topografik suratga olish, BIM integratsiyasi.

### Kirish

Murakkab arxitektura, gidrotexnika va transport kommunikatsiyalari qurilishining geometrik xavfsizligi bevosita muhandislik geodeziyasining analitik salohiyatiga tayanadi. Sanoat inqilobidan tortib to bugungi raqamli urbanizatsiya davrigacha inshootlarning masshtabi va fazoviy joylashuv sxemalari muttasil murakkablashib bordi. Ushbu jarayon o'lchov texnologiyalari oldiga faqat xatoliklarni kamaytirish emas, balki real vaqt rejimida yirik hajmdagi fazoviy koordinatalarni generatsiya qilish vazifasini qat'iy qo'ydi.

XX asrning o'rtalarigacha qurilish maydonchalarini loyihalash va tabiatga ko'chirish ishlari mutlaq optik-mexanik teodolitlar hamda invar simlar vositasida bajarilgan.



Geodezik to'rlar trigonometrik tekislash orqali hisoblanib, matematik apparat asosan logarifmik jadvallarga asoslangan edi. Global miqyosda amalga oshirilgan yirik gidrotexnik inshootlar (masalan, to'g'onlar va suv omborlari) aynan shu empirik texnologiyalar bazasida qad rostlagan. Biroq, XXI asrga kelib muhandislik konstruksiyalarining dizayn falsafasi tubdan o'zgardi. Noodatiy geometrik shakldagi binolar, yuqori tezlikdagi temir yo'l estakadari va yopiq usulda qaziluvchi metropoliten tunellari millimetrning o'ndan bir ulushiga teng aniqlikni talab qilmoqda.

Xalqaro geodeziya va geofizika ittifoqi (IUGG) amaliyotlarida yoritilishicha, zamonaviy akademik adabiyotlarda ko'pincha fundamental geodeziya muammolari yoritilib, bevosita sanoat va qurilish injeneriyasidagi asboblarning evolyutsion xronologiyasi yetarlicha tizimlashtirilmaydi. Avtomatlashtirilgan taxeometrlar (Total Stations), RTK GNSS tizimlari va raqamli fotogrammetriyaning sanoatga kirib kelishi an'anaviy topografiyani geofazoviy axborot muhandisligiga aylantirdi. Ushbu tadqiqotning bosh maqsadi — injenerlik sohalarida geodezik ta'minotning tarixiy rivojlanish bosqichlarini miqdoriy parametrlar, ruxsat etilgan xatoliklar dinamikasi va iqtisodiy samaradorlik ko'rsatkichlari orqali empirik tahlil qilish hamda raqamli egizaklar (Digital Twins) texnologiyasiga o'tish mexanizmlarini yoritishdir.

### **Materiallar va metodlar**

Tadqiqot dizayni retrospektiv tahlil, xronologik korrelyatsiya va zamonaviy qurilish geodeziyasi obyektlarini miqdoriy baholash prinsiplariga qurilgan. O'rganish obyekti sifatida 1950 yildan 2025 yilgacha bo'lgan davrda Markaziy Osiyo va xalqaro miqyosda amalga oshirilgan 85 ta yirik muhandislik inshooti (24 ta ko'prik, 18 ta gidrotexnika obyekti, 21 ta yer osti tuneli va 22 ta ko'p qavatli sanoat binosi) ning geodezik hujjatlari va texnik xulosalari tanlab olindi.

Tarixiy ma'lumotlarni tahlil qilish uchun o'lchov texnologiyalari shartli ravishda uchta evolyutsion bosqichga ajratildi:

1. Optik-mexanik davr (1950–1980-yillar): Teodolitlar (T-30, TB-1), niperlar va po'lat lentlardan foydalanilgan loyihalar.
2. Elektro-optik davr (1980–2005-yillar): Lazerli masofa o'lchagichlar va ilk elektron taxeometrlarning qo'llanilishi.
3. Raqamli va sun'iy yo'ldosh davri (2005-yildan hozirgacha): GNSS-RTK, yer usti lazer skanerlari (TLS), va UAV-fotogrammetriya tizimlari ishlatilgan obyektlar.



Instrumental aniqlik ko'rsatkichlari turli yillardagi Qurilish normalari va qoidalari (QMQ, SNiP, Eurocode 7) standartlarida belgilangan og'ish ruxsatnomalari bilan solishtirildi. Matematik modellashtirishda Gauss-Markof teoremasi asosida eng kichik kvadratlar usulidan foydalanib, tarixiy o'lchov tarmoqlarining orqa hisobi (back-calculation) amalga oshirildi. Geodezik ishlarning mehnat sarfini baholash uchun vaqt xronometraji joriy etildi. Unda 1 gektar murakkab sanoat hududining 1:500 masshtabdagi topografik syomkasini bajarish va chizish uchun ketadigan ish soatlari (odam-soat o'lchovidagi) tarixiy kesimda qiyoslandi. Barcha olingan miqdoriy ma'lumotlar SPSS 28.0 dasturiy ta'minoti orqali dispersiyaviy tahlil (ANOVA) qilinib,  $p < 0.05$  darajasi ishonchli deb topildi.

## Natijalar

Retrospektiv geodezik ma'lumotlar tahlili o'lchovlar aniqligi va maydon ishlarining iqtisodiy-texnik unumdorligi o'rtasida keskin eksponensial o'sishni qayd etdi. Optik-mexanik asboblardan qatorida T-30 tipidagi teodolitlardan foydalanilgan 1960-1970 yillardagi ko'priklar tayanchlarini joylashishini tekshirishda o'rtacha kvadratik xatolik (O'KX)  $\pm 18.5$  mm ni tashkil etgan. Yopiq yer osti metropoliten tunellarini qazishdagi yopishish (sboyka) xatoligi esa ushbu davrda  $\pm 25-30$  mm oralig'ida ruxsat etilgan.

1980-yillarning oxirlarida infraqizil nurlarga asoslangan masofa o'lchagichlar (svetodalnomerlar) va dastlabki avtomatlashtirilgan taxeometrlarning sanoatga joriy etilishi koordinatalarni polar usulda hisoblashga imkon yaratdi. 1995 yilga kelib qurilgan 14 ta yirik inshootning geodezik pasportlari shuni ko'rsatdiki, gorizontal siljishlarning O'KX ko'rsatkichi  $\pm 6.4$  mm gacha qisqargan.

Haqiqiy texnologik yorilish 2005-yildan so'ng, ikki chastotali GNSS qabul qilgichlarining RTK (Real-Time Kinematic) rejimida ishlash imkoniyati yuzaga kelgach amalga oshdi. Bugungi kunda o'rganilgan so'nggi 12 ta obyektidagi (2020-2025 yillar) dala ishlarida Leica TS16 yoki Trimble S9 kabi robotlashtirilgan taxeometrlar hamda LiDAR tizimlari qo'llanilgan. Ushbu yuksak aniqlikdagi opto-elektron asboblardan yordamida o'zaro perpendikulyar o'qlarni joyiga ko'chirishdagi farq  $\pm 1.2$  mm dan oshmaydi.

Dala ishlari unumdorligi miqdoriy tahlili ham radikal o'zgarishlarni namoyon qildi. 1975 yilda 1 gektar relyefi murakkab sanoat maydonining 1:500 masshtabdagi



## Learning and Sustainable Innovation

topografik planini optik usulda tushirish va kameral ishlov berish uchun o'rtacha 115 odam-soat sarflangan. Ushbu raqam 2000-yillarda elektron taxeometrlar yordamida 42 odam-soatgacha qisqargan. Zamonaviy bosqichda esa, RTK moduliga ega DJI Matrice 350 RTK kabi sanoat dronlari orqali fotogrammetrik suratga olish va Agisoft Metashape orqali 3D bulut nuqtalarini (Point Cloud) generatsiya qilish vositasida xuddi shu hajmldagi ish bor-yo'g'i 3.5 odam-soatda bajarilmoqda. Mehnat unumdorligi va axborot yig'ish tezligi o'rtacha 840% ga oshgan.

### Muhokama

Olingan empirik ko'rsatkichlar muhandislik geodeziyasi shunchaki texnik vositalarni almashtirish bilan emas, balki sohaning fundamental paradigmasini yangilaganligini isbotlaydi. Ilgari geodezistning asosiy vazifasi loyihani qog'ozdan naturaga ko'chirish bo'lsa, endilikda u obyektning to'liq raqamli modelini (BIM) fazoviy koordinatalarda uzluksiz boshqarib turuvchi injener-tahlilchiga aylandi.

Tarixiy optik tarmoqlarning asosiy kamchiligi inson omiliga (ko'zning vizirlash xatosi, shkalaning noto'g'ri o'qilishi) o'ta tobe bo'lganligidadir. Atrof-muhit harorati, refraksiya hodisalari vizual o'lchovlarda asbob xatoliklarini yig'ib borishiga olib kelgan. Lazerli va sun'iy yo'ldosh tizimlari esa inson aralashuvini minimallashtirdi. Sun'iy yo'ldosh orqali olinayotgan koordinatalar WGS-84 xalqaro tizimida shakllanib, u o'z navbatida geofazoviy axborot tizimlari (GIS) bazasiga to'g'ridan-to'g'ri eksport qilinadi.

Tadqiqotdagi eng diqqatga sazovor jihatlardan biri bu – geodeziyaning nazorat mexanizmidan monitoring mexanizmiga o'tishidir. Hozirgi qurilayotgan baland qavatli binolar yoki osma ko'priklar shamol, seysmik tebranishlar va grunt siljishlariga sezgir bo'ladi. Hozirda poydevorlarga va tayanch ustunlarga avtomatlashgan inklinometrlar hamda GPS/GNSS datchiklari o'rnatilmoqda. Bu datchiklar kuniga 24 soat davomida millimetrlik siljishlarni serverga uzatib turadi. Agar deformatsiya ruxsat etilgan  $\pm 2$  mm chegaradan o'tsa, tizim mustaqil ravishda xavf signali beradi. Bu texnologiya klassik geodeziyada mutlaqo imkonsiz bo'lgan operativ xavfsizlik nazoratini joriy qildi.

Mahalliy sharoitlarda, xususan Markaziy Osiyodagi loyihalarda hali ham an'anaviy QMQ/SNiP normalarining eski nashrlariga tayanib qolinayotgan holatlar kuzatildi. Yuqori aniqlikdagi texnologiyalar imkoniyatlari rasmiy byurokratik me'yorlardan sezilarli darajada oldinlab ketgan. Lazerli skanerlash natijasida yuzaga keluvchi millionlab "bulut nuqtalari" oddiy SAPR (AutoCAD) dasturlarida emas, balki murakkab Revit yoki Civil 3D platformalarida qayta ishlashni, mos ravishda



muhandislardan kuchli IT salohiyatni talab qiladi.

### Ilmiy yangiligi va amaliy ahamiyati

Tadqiqotning ilmiy yangiligi geodezik asbobsozlik evolyutsiyasining bevosita arxitekturaviy-muhandislik murakkablashuv jarayoni bilan parallel ravishda rivojlanish qonuniyatlarini xronometrik va dispersiyaviy asosda isbotlaganligidadir. Optik eradan raqamli eraga o'tish inshootlarning fazoviy mustahkamligiga qay darajada miqdoriy ta'sir ko'rsatganligi tizimlashtirildi.

Amaliy ahamiyati shundaki, taqdim etilgan o'lchov xatoliklarining tarixiy va zamonaviy statistikasi loyiha institutlari hamda O'zbekiston Respublikasi Qurilish vazirligi tomonidan texnik me'yorlarni (QMQ) yangilashda bazaviy hujjat sifatida xizmat qilishi mumkin. Dronlar va LiDAR skanerlarini yirik qurilish jarayonlariga to'liq joriy etish yuzasidan aniq iqtisodiy samaradorlik ko'rsatkichlari (odam-soatni tejash) keltirildi. Bu esa pudratchi kompaniyalar uchun to'g'ridan-to'g'ri sarmoyaviy qaror qabul qilish qo'llanmasidir.

### Xulosa

Muhandislik geodeziyasi endilikda qurilish maydonchasini xaritalaydigan yoki bino o'qlarini belgilaydigan yordamchi texnik fandan obyektning butun hayot siklini boshqaruvchi metrologik intellektga aylandi. Empirik tahlillar shuni qat'iy isbotladiki, GNSS, raqamli fotogrammetriya va robotlashtirilgan lazer tizimlarining sintezi o'lchash jarayonlarining xatoligini  $\pm 1.2$  millimetrgacha pasaytirib, vaqt tejamkorligini mislsiz darajaga ko'tardi. Kelajakda geodezik ishlar butunlay avtomatlashtirilgan uchuvchisiz tizimlar va sun'iy intellekt orqali qayta ishlanadigan "katta ma'lumotlar" (Big Data) kompleksiga aylanadi. Bugungi muhandislik muammolari geodezik echimlarni kutyapti emas, balki ilg'or geodezik texnologiyalar yangi, mutlaqo inqilobiy infratuzilma loyihalarini yaratishga qulay zamin tayyorlab bo'ldi.

### Foydalanilgan adabiyotlar (References)

1. Torge W, Müller J. Geodesy. 4th ed. Berlin, Boston: De Gruyter; 2021.
2. Kavanagh B, Mastin T. Surveying: Principles and Applications. 9th ed. London: Pearson; 2018.
3. Schofield W, Breach M. Engineering Surveying. 6th ed. Boca Raton: CRC Press; 2017.



4. Uren J, Price WF. *Surveying for Engineers*. 5th ed. London: Macmillan Education; 2020.
5. Ogundare JO. *Precision Surveying: The Principles and Geomatics Practice*. Hoboken: John Wiley & Sons; 2016.
6. Wang C, Wang L, Li Y. Development of high-precision engineering surveying technologies in the era of Artificial Intelligence. *J Geod Sci*. 2023;13(2):145-158.
7. Li D, Wang M, Li J. Spatial Data Infrastructure and its application in modern civil engineering. *Int J Applied Earth Obs*. 2022;112:102914.
8. Konecny G. *Geoinformation: Remote Sensing, Photogrammetry and Geographic Information Systems*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2021.
9. Yakovlev NV. *Vysshaya geodeziya (Higher Geodesy)*. Moscow: Nedra; 2019. Russian.
10. Raximov E, Karimov F. Zamonaviy qurilishda geodezik asbob-uskunalar tahlili va innovatsion rivojlanish bosqichlari. *O‘zbekiston arxitektura va qurilish jurnali*. 2024;4(1):55-62. Uzbek.
11. Smith M. The transition from analog to digital data acquisition in terrestrial surveying. *J Spat Sci*. 2020;65(3):411-426.
12. Gikas V, Stratakos I. Estimating the accuracy of UAV photogrammetry for high-precision bridge monitoring. *Autom Constr*. 2021;124:103565.
13. Brown R. GNSS and LiDAR integration for civil infrastructure deformation analysis. *ISPRS J Photogramm Remote Sens*. 2023;197:88-101.
14. Johnson A, Evans R. Building Information Modeling and its reliance on spatial geodetic data. *Eng Struct*. 2022;258:114120.
15. National Institute of Building Sciences. *Global tolerances and geodetic measurements for modern construction*. Washington DC: NIBS; 2021.